

# Technická univerzita v Liberci

Fakulta mechatroniky, informatiky a mezioborových studií

Studijní program: B 2612 – Elektrotechnika a informatika

Studijní obor: Informatika a logistika

Vytvoření softwaru, který určí střední dobu do zemětřesení o dané intenzitě na území  
České republiky

Create software determining estimation of mean time to earthquake with assigned  
intensity in Czech republic

## Bakalářská práce

Autor: **Milan Hořák**

Vedoucí práce: Ing. Josef Chudoba, Ph.D.

Datum odevzdání: 21. 5. 2010



# Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím bakalářské práce a konzultantem.

Datum: 21. května 2010

Podpis .....

Milan HOŘÁK

# Poděkování

Na tomto místě bych chtěl poděkovat všem, kteří mi při zpracování bakalářské práce pomáhali. V první řadě děkuji vedoucímu práce Ing. Josefu Chudobovi, Ph.D. za jeho čas, ochotu, pomoc a odborné vedení. Samozřejmě děkuji za podporu nejbližší rodině a přátelům.

Tato bakalářská práce byla zrealizována díky finanční podpoře projektu MŠMT. Výzkumná centra číslo 1M0554 s názvem „Pokročilé sanační technologie a procesy“.

# Anotace

Bakalářská práce se zabývá analyzováním počtu epicenter seismické aktivity a příslušné magnitudy na uživatelsky zadané oblasti v rámci České republiky. Výstupem práce je zjištění zda je/není daná oblast postihována častěji epicentry zemětřesení a tím pro danou oblast stanovit míru rizika. Výstupy lze využít například při tvorbě rizikových analýz pro existující i nově plánované průmyslové objekty.

Pro snadné určení jsme zhotovili software, který po načtení vstupního souboru s daty naměřených epicenter a zadání GPS souřadnice bodu (např. poloha průmyslového objektu) ve stupních a rádius v kilometrech, vykreslí pět grafů a určí střední dobu do zemětřesení.

První bodový graf zobrazuje magnitudu každého nalezeného epicentra v zadané oblasti v letech 1976 – 2010. Druhý graf byl rozdělen do šestnácti kategorií podle síly magnitudy zemětřesení. V každé kategorii je zastoupen počet nalezených epicenter v uživatelsky zadané oblasti. Třetí graf zobrazuje počet epicenter v bezprostředním okolí zadaného bodu. Bezprostřední okolí jsme zvolili na rádius třiceti kilometrů. Graf je rozdělen do šesti kategorií po pěti kilometrech, kdy do každé kategorie se zobrazí počet nalezených epicenter. Čtvrtý graf zobrazí poměr počtu nalezených epicenter v zadané oblasti/počtu nalezených epicenter v České republice a Slovensku. Graf vyjadřuje riziko vzniku zemětřesení na dané oblasti v porovnání s Českou republikou a Slovenskem. Poslední graf zobrazuje počet nalezených epicenter seismické aktivity na území České republiky a Slovenska. Počty epicenter jsou rozčleněny do šestnácti kategorií jako tomu bylo u grafu dva. Střední dobu do vzniku epicentra zemětřesení v definované oblasti, vypisujeme do tabulky k jednotlivým rozmezím magnitud.

## Klíčová slova

Zemětřesení, Česká republika, Riziko zemětřesení, Seismické vlny, Bezpečnostní analýza, Chemický průmysl.

# Annotation

The bachelor thesis deal with analyzing the epicenter of the seismic activity and the magnitude of user-specified area in the Czech republic. Output of this thesis is to discover whether it is/is not the area more frequently affected by the earthquake epicenter and for the region to set the level of the risk. Outputs can be used for example in creation of risk analysis for existing and newly planned industrial buildings.

For easy determination we made a software that after reading the input file with data measured epicenter and the GPS coordinates of a point (for example location of industrial building) in degrees and radius in kilometers, renders the five graphs and determines mean time to earthquake.

The first punctal graph shows the magnitude of each found its epicenter in the specified area in the years 1976-2010. The second graph was divided into fifteen categories depending on the strength magnitude earthquake. Each category is represented by the number found in the epicenter of a user specified area. The third graph shows the number of the epicenter in the immediate vicinity of a given point. Immediate surroundings we choose the radius of thirty kilometers. The graph is divided into six categories of five kilometers, where in each category displays the number found epicenter. The fourth graph shows the ratio of the number found in the epicenter of the specified area/number found in the epicenter of the Czech republic and Slovak republic. The graph reflects the risk of earthquakes in the region in comparison with the Czech republic and Slovakia. The last of graphs shows a number of found epicenters seismic activity on area of the Czech republic and Slovakia. The epicenter numbers are divided into sixteen categories as was the case in the graph number two. The mean time to creation of earthquake epicenter in the defined area, is written in the table to the different range of magnitudes.

## Keywords

Earthquake, Czech republic, The risk of earthquake, Seismic waves, Safety analysis, Chemical industry.

# Obsah

Prohlášení.....	3
Poděkování.....	4
Anotace .....	5
Annotation.....	6
1 Úvod.....	10
2 Teoretická část .....	11
2.1 Zeměřesení.....	11
2.1.1 Druhy zeměřesení.....	13
2.1.2 Seismické vlny .....	13
2.2 GPS.....	16
2.2.1 Historie.....	16
2.2.2 Princip.....	17
2.2.3 Využití GPS v jednotlivých oborech .....	18
2.3 Mapa stanic České regionální seismické sítě.....	19
3 Praktická část.....	20
3.1 Získání a upravení dat .....	20
3.1.1 Struktura získaných dat.....	20
3.2 Programování softwaru.....	22
3.2.1 Řešení výpočtů .....	23
3.2.2 Výpočty pro zjištění střední doby do zeměřesení .....	25
3.2.3 Popis programu.....	26
3.2.4 Vstupy do programu .....	29
3.2.5 Záložky s grafy a tabulkou.....	29
3.2.6 Graf 1 - Četnost seismických otřesů.....	29
3.2.7 Graf 2 - Počet epicenter v příslušném rozmezí magnitud.....	30
3.2.8 Graf 3 - 30 km vzdálenost od epicentra zadaných souřadnic.....	31
3.2.9 Graf 4 - Poměr počtu epicenter v zadané oblasti / počtu epicenter v ČR a SK .....	32
3.2.10 Graf 5 - Počet epicenter na území ČR a SK.....	32
3.2.11 Střední doba do zeměřesení o dané intenzitě na zvoleném rádiu v letech 1976 – 2010.....	33

3.3	Příklady využití programu .....	34
3.3.1	První modelový příklad Karlovarský kraj.....	35
3.3.2	Druhý modelový příklad okolí Prahy .....	39
4	Závěr .....	44
	Použitá literatura.....	46

## Seznam obrázků

Obr. 1 - Seismické oblasti světa mezi roky 1990 - 2000 s uvedenou hloubkou ohniska .....	11
Obr. 2 - Podélné seismické vlny.....	14
Obr. 3 - Příčné seismické vlny .....	14
Obr. 4 - Loveho vlny.....	15
Obr. 5 - Rayleighovy vlny.....	15
Obr. 6 - Rozmístění 24 satelitů po 6 různých drahách.....	17
Obr. 7 - Mapa stanic České regionální seismické sítě .....	19
Obr. 8 - Struktura získaných dat.....	21
Obr. 9 - Struktura upravených vstupní data .....	21
Obr. 10 - Vymezení čtvercové oblasti .....	22
Obr. 11 - Vymezení kruhové oblasti.....	23
Obr. 12 - Ukázka zdrojového kódu, vymezení čtvercové oblasti.....	24
Obr. 13 - Ukázka zdrojového kódu, vymezení kruhové oblasti.....	25
Obr. 14 - Vzhled a popis programu .....	28
Obr. 15 - Graf 1 Četnost seismických otřesů .....	30
Obr. 16 - Graf 2 Počet epicenter v příslušném rozmezí magnitud .....	31
Obr. 17 - Graf 3 30 km vzdálenost epicentra od zadaných souřadnic .....	31
Obr. 18 - Graf 4 Poměr počtu epicenter v zadané oblasti / počtu epicenter v ČR a SK .....	32
Obr. 19 - Graf 5 Počet epicenter v příslušném rozmezí magnitud na území ČR a SK..	33
Obr. 20 - Střední doba do zemětřesní o dané intenzitě na dané oblasti .....	33
Obr. 21 - Model 1 – Umístění zvoleného bodu .....	35
Obr. 22 - Model 1 – Četnost seismických otřesů .....	36
Obr. 23 - Model 1 – Počet epicenter v příslušném rozmezí magnitud .....	37
Obr. 24 - Model 1 – 30 km vzdálenost epicenter od zadaných souřadnic .....	37



Obr. 25 - Model 1 – Poměr počtu epicenter v zadané oblasti / počtu epicenter v ČR a SK .....	38
Obr. 26 - Model 1 – Poměr počtu epicenter v oblasti s rádiusem 10 km / počtu epicenter v ČR a SK .....	38
Obr. 27 - Model 1 – Střední doba do zemětřesní o dané intenzitě na dané oblasti .....	39
Obr. 28 - Model 2 – Umístění zvoleného bodu .....	40
Obr. 29 - Model 2 – Četnost seismických otřesů .....	41
Obr. 30 - Model 2 – Počet epicenter v příslušném rozmezí magnitud .....	41
Obr. 31 - Model 2 – 30 km vzdálenost epicenter od zadaných souřadnic .....	42
Obr. 32 - Model 2 – Poměr počtu epicenter v zadané oblasti / počtu epicenter v ČR a SK .....	42
Obr. 33 - Model 2 – Střední doba do zemětřesní o dané intenzitě na dané oblasti .....	43

## Seznam tabulek

Tabulka 1 - Richteroва stupnice.....	12
Tabulka 2 - Mercalliho stupnice.....	12

# 1 Úvod

Cílem bakalářské práce je vyhodnotit rizikovost určité oblasti na výskyt zemětřesení v porovnání s počtem zemětřesení na území České republiky a Slovenska. Vstupní data o výskytu zemětřesení, jeho magnitudy a souřadnicích epicentra byly získány na internetových stránkách [www.ig.cas.cz](http://www.ig.cas.cz).

Určení rizikovosti určité definované oblasti bude prováděno na základě poměru počtu zemětřesení v dané oblasti a počtu zemětřesení v celé České republice a Slovensku. Tyto grafické výstupy jsou vyhodnoceny z důvodu velkého množství vstupních dat pomocí softwarových prostředků. Grafické výstupy byly voleny z důvodu přehlednosti, protože je zřejmé zda zadaná oblast je více či méně postihována epicentry seismické aktivity.

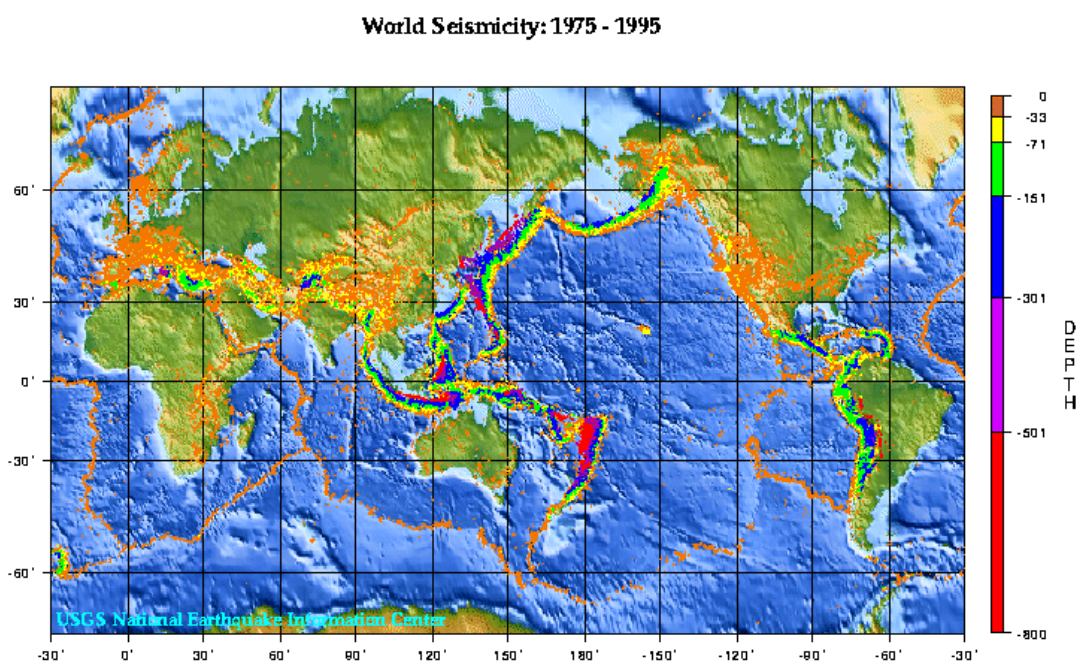
V rámci úlohy byly vybrány dva modelové příklady, které jsou následně řešeny. První z příkladů (karlovarsko) je charakterizováno velkým počtem epicenter, zatímco druhá oblast (Praha) je z pohledu zemětřesení klidnou oblastí.

Česká republika od řady průmyslových podniků (např. chemický průmysl, skladování nebezpečných látek atp.) vyžaduje provést bezpečnostní analýzy. Jedna z částí bezpečnostních analýz je prokázat případné zdroje rizik a také uvést jak se s danými zdroji rizik daný průmyslový podnik vypořádá. Obdobné informace je vhodné znát i v případě plánování nových průmyslových objektů.

## 2 Teoretická část

### 2.1 Zemětřesení

Zemětřesení jsou krátkodobé otřesy zemské kůry o různé intenzitě, vyvolané uvolněním napětí z neustálých pohybů zemských desek – podél zlomů. Největší zemětřesení se proto vyskytují na okrajích litosférických desek, nebo v okolí velkých zlomů (Obr. 1). Studování zemětřesení se věnuje seismologie.



**Obr. 1 - Seismické oblasti světa mezi roky 1990 - 2000 s uvedenou hloubkou ohniska**  
[<http://sci.muni.cz/~herber/quake.htm#1>]

K měření intenzity zemětřesení se používají dvě rozdílné veličiny, magnitudo a makroseismická intenzita. Magnitudo se určuje z maximální výchylky seismometru<sup>1</sup>, zatímco makroseismická intenzita se určuje ze statistického vyhodnocení účinků zemětřesení na osoby, budovy a krajinu. Každé zemětřesení je vyčísleno jednou hodnotou magnituda, ale více hodnotami makroseismické intenzity. Je to dáno polohou vůči hypocentru<sup>2</sup>. Existuje několik magnitudových stupnic, mezi nejznámější patří Richterova stupnice (Tabulka 1) a Mercalliho stupnice (Tabulka 2).

<sup>1</sup> Seismometr (seismograf) - přístroj, který měří a pořizuje zápis velikosti, síly a průběhu seismických vln

<sup>2</sup> Hypocentrum – ohnisko zemětřesení v hloubce

Richterova stupnice měří na základě uvolnění energie. Tato stupnice je mezi lidmi nejznámější tabulkový ukazatel síly zemětřesení.

**Tabulka 1 - Richterova stupnice**

Magnitudo	Popisek	Následky
méně než 2,0	Mikro	Není cítit, lze pouze měřit přístroji
2,0 až 2,9	Velmi malé	Nejmenší hodnota, kterou člověk rozpozná (bez poškození)
3,0 až 3,9	Malé	Slabé zemětřesení
4,0 až 4,9	Slabé	Slabé poškození budov blízko epicentra
5,0 až 5,9	Střední	Vážné poškození špatně postavených budov
6,0 až 6,9	Silné	Velké poškození budov
7,0 až 7,9	Velké	Rozsáhlé poškození budov
8,0 nebo větší	Velmi velké	Téměř úplné zničení

Mercalliho stupnice byla sestavena na základě pozorování následků zemětřesení. Běžně se mezi lidmi tato stupnice příliš nepoužívá, není tak známá jako Richterova stupnice.

**Tabulka 2 - Mercalliho stupnice**

Stupeň	Pojmenování	Popis
I.	Nepozorovatelné	Člověk nerozpozná, pouze přístroje.
II.	Velmi slabé	Rozpoznatelné v horních patrech budov citlivými lidmi ( $2,6 - 5 \text{ mm.s}^{-2}$ ).
III.	Slabé	Vibrace, lustry se pohybují; srovnatelné s vibracemi způsobenými projíždějícím těžkým nákladním automobilem.
IV.	Mírné	Drnčení oken, cinkot příborů a nádobí, zdi vydávají praskavé zvuky.
V.	Málo silné	Lze rozpoznat v krajině, probouzí spící, praskání oken, kyvadlové hodiny se mohou zastavit ( $28 - 50 \text{ mm.s}^{-2}$ ).
VI.	Silné	Vrávorání při chůzi, padají předměty, rozbíjí se nádobí, praskliny v omítce.
VII.	Velmi silné	Lze jen obtížně stát, zvony zvoní, trhliny ve zdech.
VIII.	Bořivé	Padají komíny, poškození budov, pohybující se těžký nábytek.
IX.	Pustošivé	Panika, vážné poškození domů, větší trhliny v půdě.
X.	Ničivé	Zničené budovy, porušení přehrad, velké trhliny v půdě.
XI.	Katastrofické	Roztržení kolejí a potrubí, zničené mosty, změny terénu.
XII.	Globální	Velké předměty létají vzduchem, úplné zničení, rozsáhlé terénní změny (více než $500 \text{ mm.s}^{-2}$ ).

### 2.1.1 Druhy zemětřesení

Rozlišujeme následující typy zemětřesení:

- Říťivá zemětřesení: vznikají především v krasových oblastech nebo dutin vzniklých hlubinným dobýváním ložisek, převážně lokální charakter, přibližně 3% všech zemětřesení
- Sopečná (vulkanická): bývají průvodním jevem vulkanické činnosti, předchází vlastní výbuchům nebo výlevům lávy, vyvoláno pohybem ker pod tlakem vystupujících plynů, par a lávy, mívá lokální význam a malou intenzitu, přibližně 7% všech zemětřesení
- Tektonická (dislokační): způsobena náhlým uvolněním elastické energie přičemž dochází k tektonickému pohybu ker ve zlomových spárách, nejčastější ze všech jevů, oblast zemětřesení bývá řádově v desítkách kilometrů, nejzhoubnější typ zemětřesení, oblast bývá řádově desítky kilometrů čtverečních.
- Mělká: do 70 km, nejčastější (85% všech zemětřesení)
- Středně hluboká: 70 – 300 km, méně častá (12% všech zemětřesení)
- Hluboká: hlouběji než 300 km (převážně do 700 km), nejméně pravděpodobná (3% všech zemětřesení)

### 2.1.2 Seismické vlny

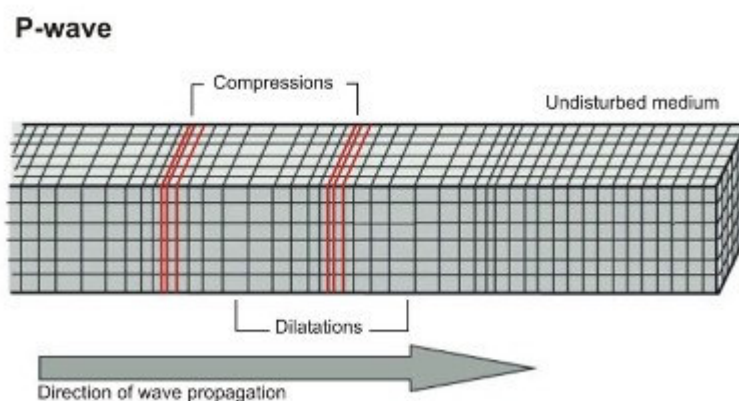
Seismické vlny se tvoří následkem uvolnění nashromážděné elastické energie uvnitř zemského tělesa, nebo na jeho povrchu. Rychlost seismických vln závisí na prostředí, ve kterém se šíří. V pevných horninách se šíří rychleji než v horninách měkkých. Existují 4 druhy seismických vln, které se od sebe liší:

- P-vlny,
- S-vlny,
- Loveho vlny,
- Rayleighovy vlny.

Vlny se od sebe liší růzností pohybu částic, rychlostí šíření a jejich ničivost.

### **P-vlny (longitudinální, podélné)**

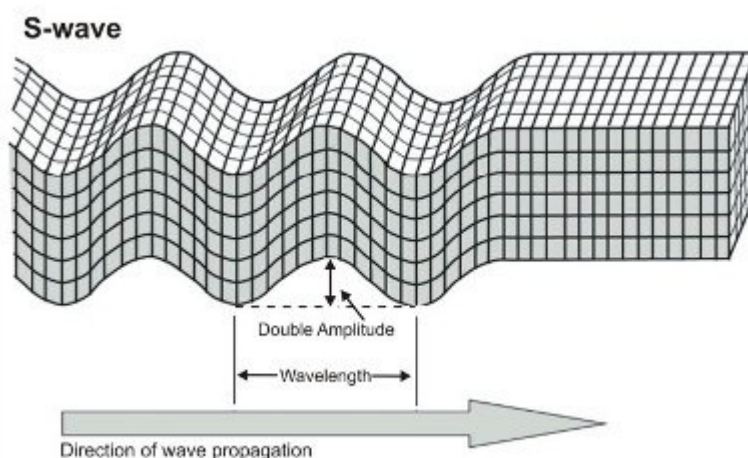
Jednotlivé části kmitají se směrem vlny, jedná se o jakési periodické zhušťování a zředování hmoty. Šíření P-vln může probíhat v jakémkoliv prostředí, tedy jak v pevném, tak v kapalném i plynném. Typ tohoto vlnění způsobuje minimální škody, Podobá se zvukovým vlnám (např. otřesy okenních tabulek). Ukázka podélné seismické vlny je uvedena na obrázku (Obr. 2).



**Obr. 2 - Podélné seismické vlny**  
[<http://sci.muni.cz/~herber/quake.htm#1>]

### **S-vlny (transverzální, příčné)**

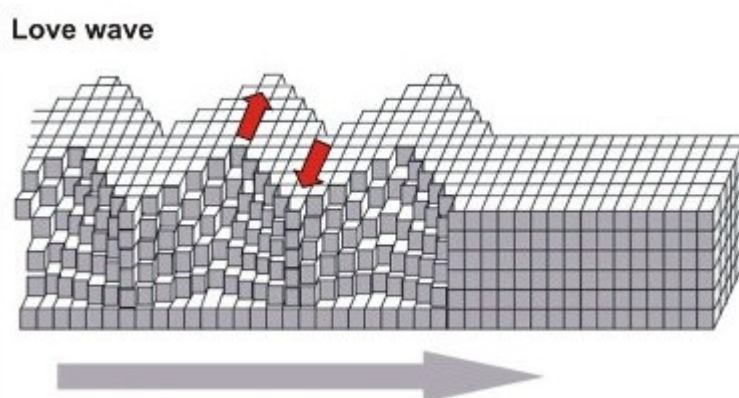
Vlny tohoto typu kmitají kolmo ze směru šíření otřesů. Představují daleko větší hrozbu než P-vlny, neboť dochází k fyzickému pohybu zemského povrchu. S-vlny se nemohou šířit v kapalinách a plynech, tudíž se vlny nedostanou přes kapalně jádro Země a na druhé straně dochází k tzv. zastínění. Na obrázku (Obr. 3) jsou znázorněny dvě hlavní charakteristiky vlny – amplituda a vlnová délka.



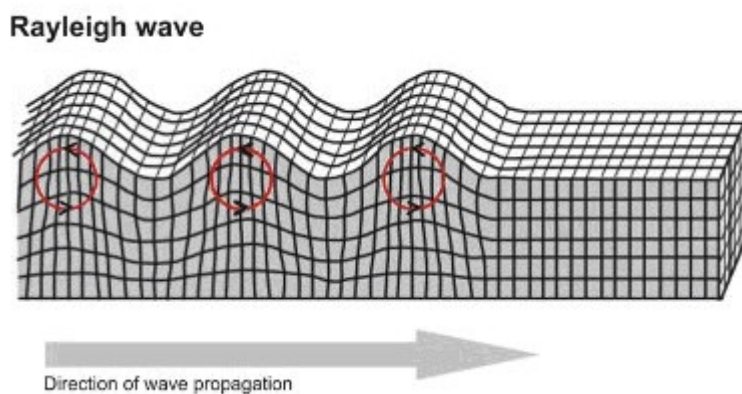
**Obr. 3 - Příčné seismické vlny**  
[<http://sci.muni.cz/~herber/quake.htm#1>]

## Loveho a Rayleighovy vlny

Povrchové vlny Loveho kmitají v horizontální rovině. Naopak vlny Rayleighovy kmitají ve vertikální rovině, oba typy vln pak vykonávají pohyb po trajektorii a vznikají na rozhraní fyzikálně odlišných prostředí. Mají charakter příčných vln a pohybem připomínají mořskou hladinu. Povrchové vlny jsou celkově pomalejší než vlny hlubinné. Vzhledem k velkým amplitudám těchto vln pohybují velmi značně zemským povrchem a tím představují maximální rizika. Tato rizika tak mohou znamenat velké nebezpečí ohrožení lidských životů a způsobit obrovské materiální škody. Loveho a Rayleighovy jsou proto nejvíce nebezpečné.



Obr. 4 - Loveho vlny  
[<http://sci.muni.cz/~herber/quake.htm#1>]



Obr. 5 - Rayleighovy vlny  
[<http://sci.muni.cz/~herber/quake.htm#1>]

## 2.2 GPS

Pojem GPS je zkratka anglického Global Positioning System, což v překladu znamená Globální polohovací systém, který za pomoci satelitů dokáže zjistit přesnou polohu na Zemi s přesností na desítky až jednotky metrů. Díky této službě dokážeme přesně identifikovat místa na mapě, kde se mimo jiné nacházelo ohnisko zemětřesení. V bakalářské práci byly GPS souřadnice využity k lokalizaci epicentra zemětřesení. Zeměpisné souřadnice ve stupních se zapisují v podobě severní šířky a východní délky.

### 2.2.1 Historie

Satelitní GPS navigační systémy začaly vznikat už v šedesátých letech minulého století, kdy americká armáda začala umisťovat první družice na oběžnou dráhu. Původní název systému je NAVSTAR GPS (Navigation Signal Timing and Ranging Global Positioning System). Tehdy bylo GPS primárně určeno a vyvíjeno výhradně pro vojenské účely. Účelem bylo zjištění přesné pozice vojenských jednotek v terénu a stanovení přesných strategických bodů. Později bylo uvolněno i pro civilní obyvatelstvo a z původních jedenácti satelitů, se rozrostlo na 24 družic.

Obdobou amerického GPS je ruský GLONASS (Globalnaja navigacionnaja sputnikovaja sistema). Je globální družicový polohový systém (GNSS) vyvinutý v SSSR a nyní provozovaný ruskou armádou.

V současnosti je vyvíjen navigační systém Galileo. Autonomní evropský Globální družicový polohový systém (GNSS), by měl být výhradně pro Evropu. Je to obdoba amerického GPS a ruského GLONASS. Financování zajišťují státy Evropské unie a jejich instituce. V současnosti se plánuje nedřívější spuštění na rok 2014. Název Galileo nese projekt podle italského vědce Galilea Galileiho. Systém má tvořit třicet operačních družic z čehož mají být tři v záloze. Družice mají obíhat po svých drahách ve výšce 23 tisíc kilometrů nad povrchem Země se sklonem  $56^\circ$  k zemskému rovníku. Družice se budou pohybovat ve třech rovinách, vzájemně vůči sobě posunutých o šedesát stupňů. Na každou rovinu připadne devět pozic pro družice a jedna pozice jako záloha. Tím se systém při selhání jedné družice rychle doplní na plný počet.



### 2.2.2 Princip

Celé GPS můžeme rozdělit do 3 podsystémů:

- kosmický podsystém,
- řídicí podsystém,
- uživatelský podsystém.

#### Kosmický podsystém

V současné době je podsystém tvořen 24 družicemi, které obíhají kolem Země v šesti různých drahách ve výšce cca. 20 000 km nad Zemským povrchem, vždy skloněných o  $55^\circ$  vzhledem k rovině rovníku. Oběžná doba každé z družic je 12 hvězdných hodin, což je 11 hodin a 58 minut. Z každého místa na Zemi je tak v ideálním případě vidět 12 družic, reálně to je 5 – 8 družic. Systém je koncipován tak, aby byl kdykoliv a kdekoliv každý bod na Zemi snímán minimálně čtyřmi družicemi. Každá z družic obsahuje přijímač, vysílač a atomové hodiny s přesností miliardtiny sekundy. Přijímač slouží k přijímání dat z řídicího centra na Zemi, na základě vstupních dat např. koriguje svou letovou dráhu. Vysílač slouží k zasílání dat zpět do řídicího centra a především k samotnému vysílání dat uživateli GPS.



Obr. 6 - Rozmístění 24 satelitů po 6 různých drahách  
[<http://www.ce4you.cz/articles/detail.asp?a=244>]

#### Řídicí podsystém

Řídicí podsystém systému GPS monitoruje funkce družic a získané údaje předává zpět družicím. Na základě těchto údajů družice reagují například změnou dráhy. Monitorovací stanice družic GPS jsou rozmístěny kolem rovníku, přičemž hlavní řídicí

stanice je v Colorado Sprinte ve státě USA. Cílem celého řídicího pod systému je monitorovat funkci každé družice (především dráhu, výpočty) a synchronizovat přesný chod atomových hodin.

### **Uživatelský pod systém**

Jedná se o klasický přijímač, ať už samotný nebo zabudovaný do nějakého zařízení (PDA, mobilní telefony a jiná). Komerční přístroje jsou zpravidla v takzvaném pasivním režimu. Tento režim způsobuje, že zařízení je schopno pouze GPS signál přijímat. Pro určení polohy uživatele není třeba, aby zařízení vrátilo signál nebo jakoukoliv odezvu zpět družici. Důvodem je také vojenská bezpečnost.

## **2.2.3 Využití GPS v jednotlivých oborech**

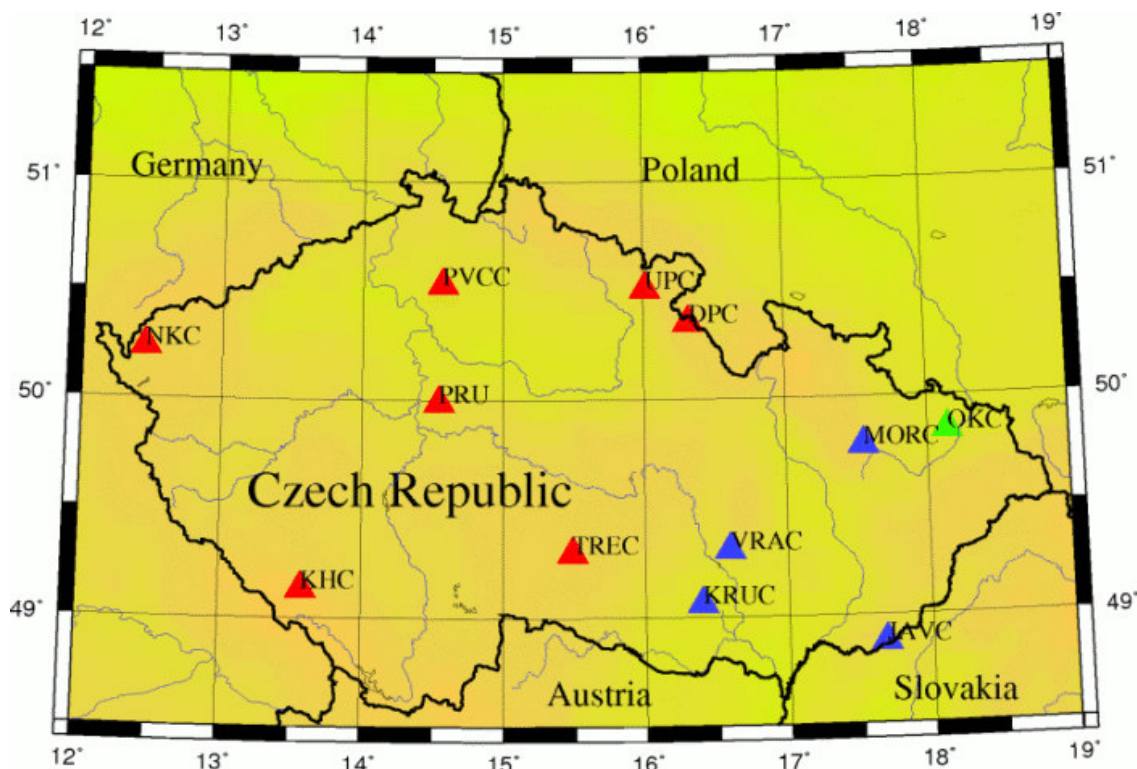
- Armáda
  - navigace vojenského letectva
  - řízené střely
  - přesun živé síly a techniky v terénu
- Geodézie
  - určování polohy bodů s vysokou přesností (až 3 – 15 m)
  - zaměřování, vytyčování
  - GIS<sup>3</sup>, mapování
  - sledování pohybu zemských desek
  - určování parametrů rotace Země
  - jiné
- Komerční využití a další obory
  - letectví
  - námořní doprava
  - automobilová doprava
  - turistika
  - jiné

---

<sup>3</sup> GIS - Geografický informační systém je na počítačích založený informační systém pro získávání, ukládání, analýzu a vizualizaci dat, která mají prostorový vztah k povrchu Země. Data jsou definována svou geometrií, topologií, atributy a dynamikou.

## 2.3 Mapa stanic České regionální seismické sítě

Následující mapa (Obr. 7) ukazuje přesná místa jednotlivých seismických stanic provozované Geofyzikálním ústavem (červeně), Ústavem fyziky Země MUNI Brno (modře) a Ústavem Geoniky/TU Ostrava (zeleně).



Obr. 7 - Mapa stanic České regionální seismické sítě

Legenda:

Dobruška/Polom (DPC)	Ostrava/Krásné Pole (OKC)	Moravský Krumlov (KRUC)
Kašperské Hory (KHC)	Panská Ves (PVCC)	Velká Javorina (JAVC)
Králíky (KRLC)	Průhonice (PRU)	Vranov (VRAC)
Moravský Beroun (MORC)	Třešť (TREC)	
Nový Koste I (NKC)	Úpice (UPC)	

## 3 Praktická část

### 3.1 Získání a upravení dat

Naměřená data popisující zemětřesení v oblasti střední Evropy jsme získali ze serveru [www.ig.cas.cz](http://www.ig.cas.cz). Vstupní data byla na těchto stránkách rozdělena do několika souborů, kde každý soubor představoval jeden kalendářní rok od začátku měření (obr. 8). Data tedy zpracováváme od 1. března 1976 do 3. dubna 2010. Pro další úpravy, které jsou uvedeny níže je potřeba sloučit tato data do jednoho souboru. Využilo se k tomu příkazového řádku v MS Windows, pomocí skriptu `type regi*.lok > data.txt`.

#### 3.1.1 Struktura získaných dat

Získaná data byla rozčleněna do 14 sloupců (obr. 8) . Kde jednotlivé sloupce představují:

- 1. sloupec – rok, měsíc a den epicentra seismické aktivity,
- 2. sloupec – hodinu epicentra seismické aktivity,
- 3. sloupec – minutu epicentra seismické aktivity,
- 4. sloupec – sekundu epicentra seismické aktivity,
- 5. sloupec – region ve kterém bylo zjištěné epicentrum seismické aktivity,
- 6. sloupec – GPS souřadnice severní šířky ,
- 7. sloupec – GPS souřadnice východní délky,
- 8. sloupec – hloubka ohniska v kilometech,
- 9. sloupec – velikost zemětřesení naměřený světovými centry (ISC, NEIC, SED a pod.),
- 10. sloupec – lokální magnitudo určené ze záznamů stanic České regionální seismické sítě,
- 11. sloupec – typ seismického jevu (M = důlní otřes, T = tektonický otřes, X = chemická exploze v lomu),
- 12. sloupec – maximální epicentrální intenzita,
- 13. sloupec – datové centrum, které spočítalo lokalizaci seismického jevu,
- 14. sloupec – poznámka k jevu - oblast, důlní otřes, pocíteno lidmi, atd.

1985-07-15	19	05	20.4	548	50.78	19.14	0	.0	.0	M	.0	ISC	
1985-07-15	23	51	19.9	548	50.31	19.01	0	.0	.0	M	.0	ISC	UPPER SILESIA
1985-07-16	09	49	50.1	548	50.21	18.91	24	.0	.0	M	.0	ISC	UPPER SILESIA
1985-07-16	18	43	25.0	547	.00	.00	0	.0	.0	X	.0		EXPLOSION N49.70 E17.78
1985-07-18	06	34	3.5	544	47.64	7.08	1	.0	.0	T	.0	ISC	
1985-07-18	16	10	15.5	547	.00	.00	0	.0	.0	T	.0		N49.99 E17.88 !GFU
1985-07-18	23	30	59.0	548	.00	.00	0	.0	.0	T	.0		LUBIN N51.51 E16.16 !GFU
1985-07-18	23	38	19.0	548	.00	.00	0	.0	.0	T	.0		LUBIN N51.61 E15.99 !GFU
1985-07-19	03	03	23.3	546	46.39	13.03	0	.0	.0	T	.0	ISC	
1985-07-19	04	33	31.6	999	.00	.00	0	.0	.0		.0		
1985-07-19	09	16	9.7	381	42.81	12.51	10	.0	.0	T	.0	ISC	
1985-07-19	17	59	10.0	545	.00	.00	0	.0	.0	T	.0		
1985-07-20	01	52	2.2	545	.00	.00	0	.0	.0	T	.0		
1985-07-20	02	12	4.5	547	.00	.00	0	.0	.0	T	.0		N50.01 E17.86 !GFU
1985-07-20	19	15	55.5	548	.00	.00	0	.0	.0	T	.0		N51.04 E17.42 !GFU
1985-07-21	01	46	17.5	999	.00	.00	0	.0	.0		.0		PROBABLY POLAND
1985-07-21	06	16	48.0	545	44.63	9.58	24	.0	.0	T	.0	ISC	
1985-07-21	09	04	27.6	545	44.64	9.63	11	.0	.0	T	.0	ISC	
1985-07-22	04	46	30.5	999	.00	.00	0	.0	.0		.0		LUBIN
1985-07-23	08	22	57.1	999	.00	.00	0	.0	.0		.0		

Obr. 8 - Struktura získaných dat

Dále jsme získané vstupy upravili do následující formy (obr. 9), kterou zpracováváme výsledným programem. Díky úpravám, které jsme provedli, lze vstupní soubor s daty snadno procházet bez používání zbytečných podmínek, které výrazně zpomalují program.

#### Získaná data jsme upravili následovně:

- zdvojené mezery jsme nahradili pouze jednou mezerou,
- hodnoty „0“, jsme nahradili hodnotou „0.0“,
- řádky, kde nebyla uvedena jedna z GPS souřadnic, byla pro nevypovídající hodnotu vynechána.

```

1985-07-15 19 05 20,4 548 50,78 19,14 0 0,0 0,0 M 0,0 ISC
1985-07-15 23 51 19,9 548 50,31 19,01 0 0,0 0,0 M 0,0 ISC UPPER SILESIA
1985-07-16 09 49 50,1 548 50,21 18,91 24 0,0 0,0 M 0,0 ISC UPPER SILESIA
1985-07-16 18 43 25,0 547 0,00 0,00 0 0,0 0,0 X 0,0 EXPLOSION N49,70 E17,78
1985-07-18 06 34 3,5 544 47,64 7,08 1 0,0 0,0 T 0,0 ISC
1985-07-18 16 10 15,5 547 0,00 0,00 0 0,0 0,0 T 0,0 N49,99 E17,88 !GFU
1985-07-18 23 30 59,0 548 0,00 0,00 0 0,0 0,0 T 0,0 LUBIN N51,51 E16,16 !GFU
1985-07-18 23 38 19,0 548 0,00 0,00 0 0,0 0,0 T 0,0 LUBIN N51,61 E15,99 !GFU
1985-07-19 03 03 23,3 546 46,39 13,03 0 0,0 0,0 T 0,0 ISC
1985-07-19 04 33 31,6 999 0,00 0,00 0 0,0 0,0 0,0
1985-07-19 09 16 9,7 381 42,81 12,51 10 0,0 0,0 T 0,0 ISC
1985-07-19 17 59 10,0 545 0,00 0,00 0 0,0 0,0 T 0,0
1985-07-20 01 52 2,2 545 0,00 0,00 0 0,0 0,0 T 0,0
1985-07-20 02 12 4,5 547 0,00 0,00 0 0,0 0,0 T 0,0 N50,01 E17,86 !GFU
1985-07-20 19 15 55,5 548 0,00 0,00 0 0,0 0,0 T 0,0 N51,04 E17,42 !GFU
1985-07-21 01 46 17,5 999 0,00 0,00 0 0,0 0,0 0,0 PROBABLY POLAND
1985-07-21 06 16 48,0 545 44,63 9,58 24 0,0 0,0 T 0,0 ISC
1985-07-21 09 04 27,6 545 44,64 9,63 11 0,0 0,0 T 0,0 ISC
1985-07-22 04 46 30,5 999 0,00 0,00 0 0,0 0,0 0,0 LUBIN
1985-07-23 08 22 57,1 999 0,00 0,00 0 0,0 0,0 0,0

```

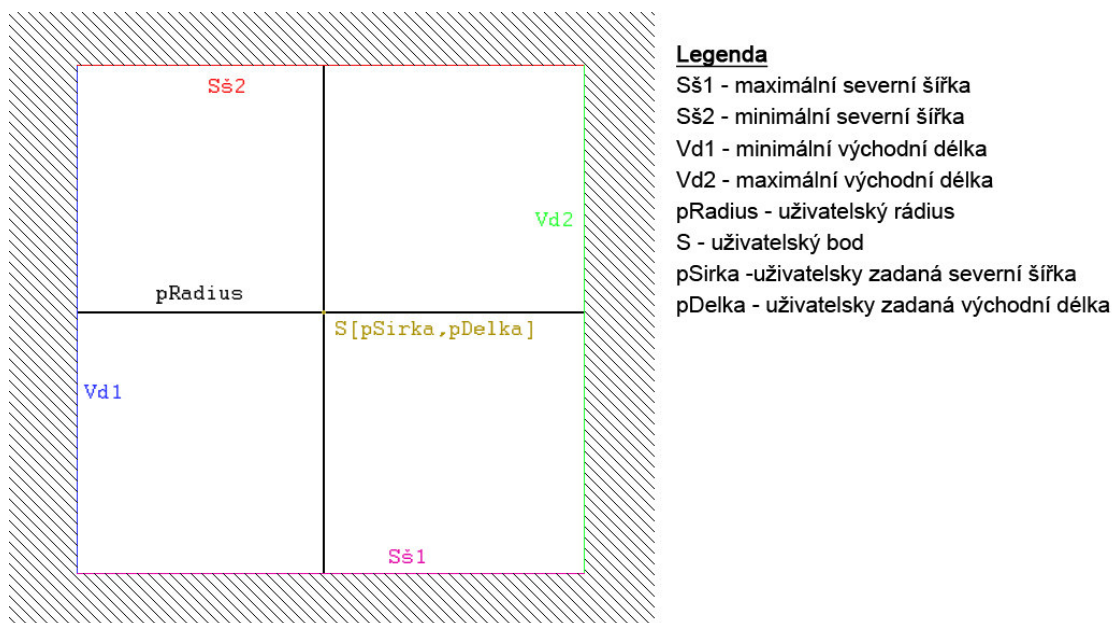
Obr. 9 - Struktura upravených vstupní data

## 3.2 Programování softwaru

Hlavní cílem vytvořeného softwaru je zjištění počtu a velikosti magnitudy seismické aktivity v uživatelsky zadané oblasti a celkové porovnání se seismickou aktivitou v České republice a Slovensku.

Program jsme naprogramovali v programu Microsoft Visual Studio 2008 Professional. Nejdříve je nutné definovat souřadnice bodu ve kterém chceme porovnávat seismickou aktivitu a vzdálenost oblasti od tohoto bodu. V této oblasti bude následně stanovováno riziko představující zemětřesení. Definování velikosti této oblasti je možné přes takzvané ortodromy<sup>4</sup>. Tato početní metoda je však velice výpočetně náročná (z důvodu zakřivení Země) a vzhledem k tomu jak velké procentuální území zabírá Česká republika vůči celé Zemi, zvolili jsme jednodušší metodu která dané zakřivení nahrazuje plochou.

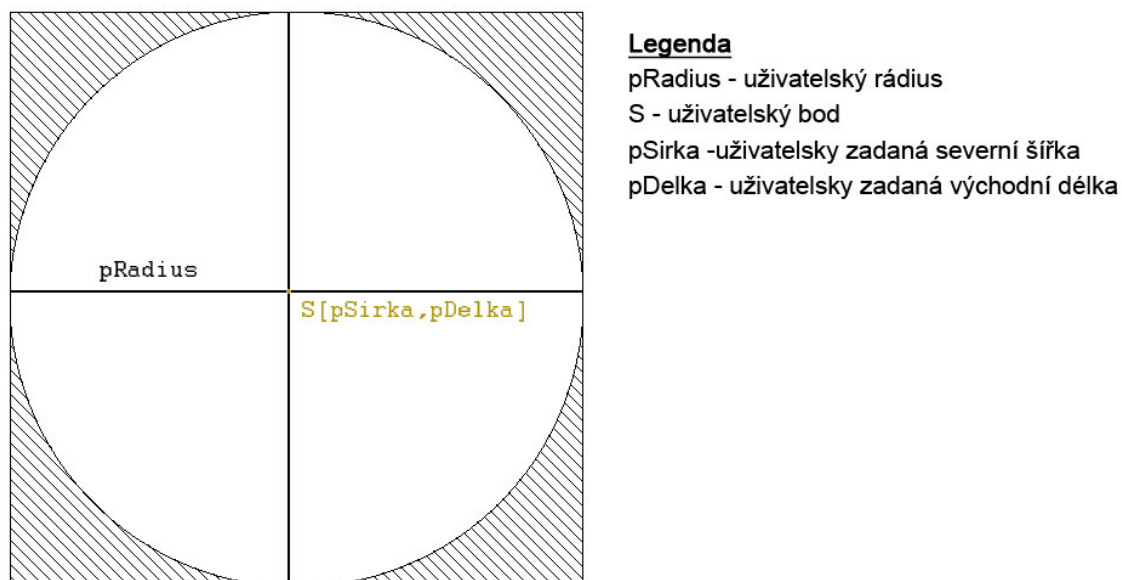
Oblast, kterou uživatel zadá pomocí GPS souřadnic ve stupních severní šířky, východní délky a rádiusem v kilometrech, nejdříve omezíme na čtverec (obr. 10), z důvodu menší náročnosti na výpočet.



Obr. 10 - Vymezení čtvercové oblasti

<sup>4</sup> Ortodroma - nejkratší spojnice dvou bodů na kulové ploše

Epicentra bodů nacházející se ve čtvercové oblasti dále omezíme kružnicí (Obr. 11) a tím získáme uživatelsky zadanou oblast. Kde jednotlivý bod představuje epicentrum seismické aktivity.



Obr. 11 - Vymezení kruhové oblasti

### 3.2.1 Řešení výpočtů

Omezení vyhledávané oblasti na čtvercovou se provádí přes „while“ cyklus, kdy se načítají jednotlivé souřadnice ohnisek zemětřesení a stanovuje se, zda dané zemětřesení je/není ve sledované oblasti. Dané omezení se provádí pomocí vzorců (1), zápis v programu je vidět na obrázku (obr.12).

$$\begin{aligned}
 Vd_2 &= \frac{d \cdot 180}{\pi \cdot r \cdot \cos(S\check{s}_m)} + Vd_m \\
 Vd_1 &= Vd_m - \frac{d \cdot 180}{\pi \cdot r \cdot \cos(S\check{s}_m)} \\
 S\check{s}_2 &= S\check{s}_m - \frac{d \cdot 180}{\pi \cdot r} \\
 S\check{s}_1 &= S\check{s}_m + \frac{d \cdot 180}{\pi \cdot r}
 \end{aligned} \tag{1}$$

, kde

Vd2 východní délka vpravo od zadaného bodu

Vd1 východní délka vlevo od zadaného bodu



Sš1	severní šířka nahoře od zadaného bodu
Sš2	severní šířka dole od zadaného bodu
d	zadaný rádius uživatelem
Vdm	východní délka zadaná uživatelem
Sšm	severní šířka zadaná uživatelem
r	konstanta, poloměr země (6378 km)

Výsledky ze vzorců porovnáváme s uživatelskými hodnotami (Obr. 13). Uživatelská severní šířka musí být vždy v intervalu  $\langle Ss_2; Ss_1 \rangle$  a uživatelská východní délka musí být také vždy v intervalu  $\langle Vd_1; Vd_2 \rangle$ , aby podmínka byla splněna a epicentrum bylo ve vymezeném čtverci.

Zápis v programu:

```
double vd2 = ((pRadius * 180.0) / (Math.PI * 6378.0 * Math.Cos(pSirka)) + pDelka);
double vd1 = pDelka - ((pRadius * 180.0) / (Math.PI * 6378.0 * Math.Cos(pSirka)));
double ss2 = ((-pRadius * 180.0) / (Math.PI * 6378.0) + pSirka);
double ss1 = pSirka + ((pRadius * 180.0) / (Math.PI * 6378.0));
```

Obr. 12 - Ukázka zdrojového kódu, vymezení čtvercové oblasti

Pro vstupní data, které jsou ve vymezeném čtverci se dále provede omezení vyhledávané oblasti na kružnici. To provádím pomocí určení skutečné vzdálenosti epicentra od zvoleného bodu. Tím se získají všechny evidované zemětřesení, které jsou ve vymezené oblasti. Toto se provede pomocí následujících vzorců (2):

$$\Delta V = (Vd_s - Vd_m) \cdot \frac{\pi \cdot r \cdot \cos(S\check{s}_m)}{180}$$

$$\Delta S = (S\check{s}_s - S\check{s}_m) \cdot \frac{\pi \cdot r}{180} \quad (2)$$

$$d_i = \sqrt{\Delta V^2 + \Delta S^2}$$

, kde

$\Delta V$	rozdíl mezi východními délkami ze souboru a uživatelsky zadanými
$\Delta S$	rozdíl mezi severními šířkami ze souboru a uživatelsky zadanými
Vdm	východní délka zadaná uživatelem
Sšm	severní šířka zadaná uživatelem



- Vds východní délka získaná ze souboru
- Sss severní šířka získaná ze souboru
- di výsledný rádius, od uživatelského bodu k epicentru
- r poloměr země (6378 km)

Dále pak  $d_i$  porovnávám se zadaným rádiem „d“ od uživatele. Pokud je rádius menší nebo roven, splňuje tak podmínku a dané hodnoty (datum, magnituda, region, vyslednyRadius) na stejném řádku se zapíše do pole a následně se vykreslí do grafů. Toto epicentrum se pak nachází v uživatelem zadané oblasti. Postup psaní kódu na (obr. 13).

Zápis v programu:

```
if (vd1 <= vychodniDelka && vychodniDelka <= vd2)
{
    if (ss2 <= severniSirka && severniSirka <= ss1)
    {
        double vdRozdil = (vychodniDelka - pDelka) * ((Math.PI * 6378.0 * Math.Cos(pSirka))
        double ssRozdil = (severniSirka - pSirka) * ((Math.PI * 6378.0) / 180.0);
        double vyslednyRadius = Math.Sqrt(vdRozdil * vdRozdil + ssRozdil * ssRozdil);
        if (vyslednyRadius <= pRadius)
        {
            if (double.Parse(hodnoty[8]) > double.Parse(hodnoty[9]))
            {
                mujArrayList[0].Add(double.Parse(hodnoty[8])); // magnitudy
            }
            else
            {
                mujArrayList[0].Add(double.Parse(hodnoty[9])); // magnitudy
            }
            mujArrayList[1].Add(hodnoty[0]); // datumy
            mujArrayList[2].Add(vyslednyRadius); // radiusy
        }
    }
}
```

Obr. 13 - Ukázka zdrojového kódu, vymezení kruhové oblasti

### 3.2.2 Výpočty pro zjištění střední doby do zemětřesení

Pomocí následujícího vzorce (3), jsme dokázali určit střední dobu do zemětřesení o dané intenzitě na uživatelsky zvolené oblasti. Vstupní data do vzorců vstupují z větší části ve formě konstant:

- plocha České republiky a Slovenska (127 901 km<sup>2</sup>),
- doba sledování (35 let),

- počet zemětřesení o dané intenzitě v České republice a Slovensku.

Zbylé proměnné zadá uživatel svým uvážení, která oblast ho zajímá a to zadáním příslušného bodu a rádiu.

$$MTBF = \frac{S \cdot T}{P \cdot \pi \cdot r^2 \cdot G} \quad (3)$$

,kde

MTBF střední doba do zemětřesení o dané intenzitě na uživatelsky zadané oblasti

P počet zemětřesení o dané intenzitě v České republice a Slovensku

S plocha České republiky a Slovenska

T doba sledování (v letech)

r rádius

G poměr počtu epicenter v zadané oblasti / počtu epicenter v České republice a Slovensku rozdělené dle intenzity

### 3.2.3 Popis programu

Vzhled a ovládání programu bylo vyřešeno pomocí formulářového okna. Prostředí modelu se skládá ze čtyř částí s kterými uživatel pracuje. Jednotlivé části programu se dají rozdělit do následujících kategorií (obr. 14):

- záložky s grafy a tabulkou [1]
- menu [2],
- uživatelské parametry [3],
- výsledky [4].

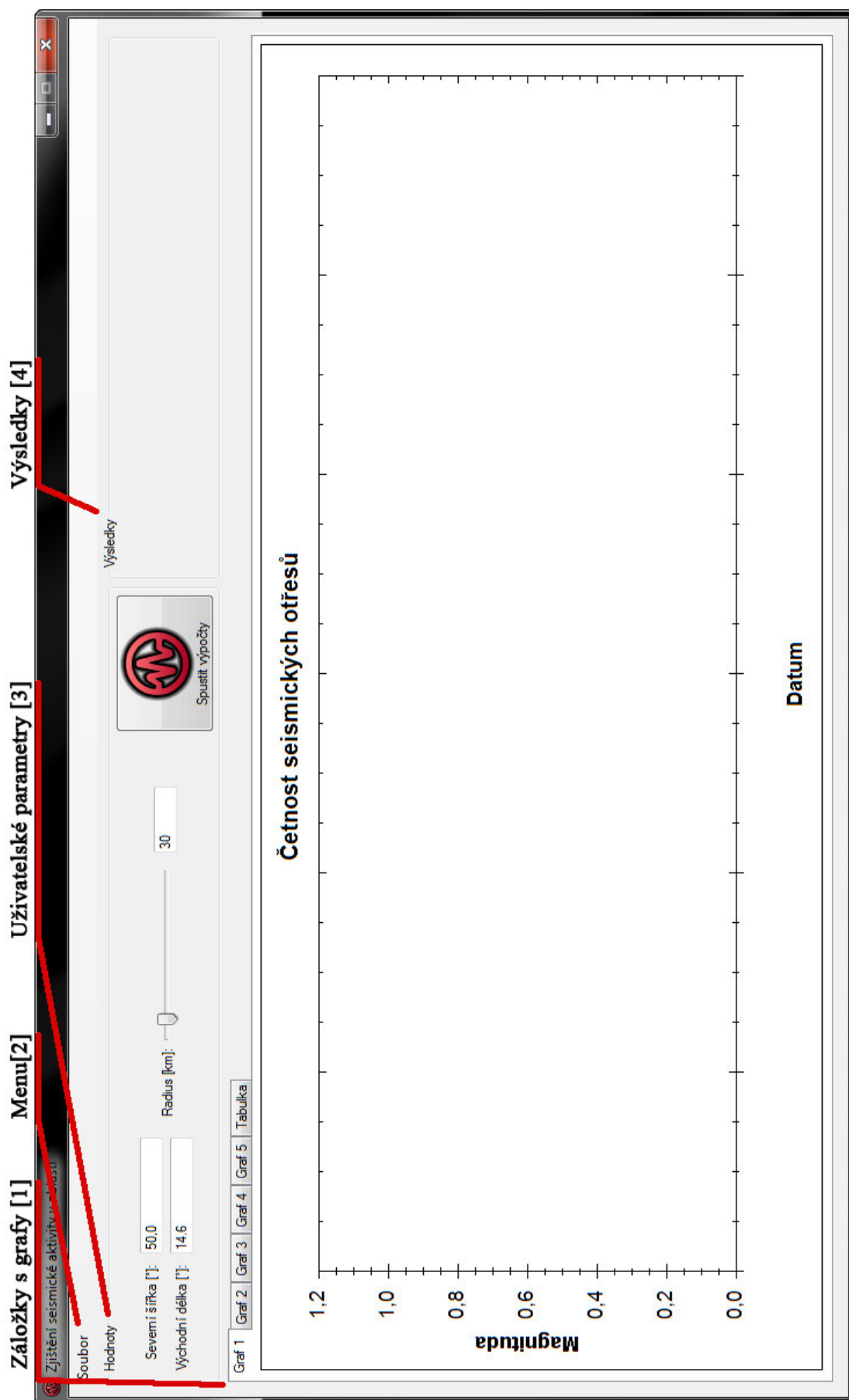
V menu si uživatel může zvolit mezi dvěmi položkami. A to položku „Otevřít“ a položku „Exit“. Položka „Otevřít“ slouží k vybrání upraveného vstupního souboru s daty. Načtení vstupního souboru je omezeno pouze na textové soubory, tedy soubory s koncovkou typu \*.txt. Položka „Exit“ slouží k ukončení programu a vyčištění obsahu paměti.

V oblasti uživatelské parametry se zadávají přesné hodnoty bodu pomocí GPS souřadnic ve stupních a rádiusem v kilometrech. Rádus se dá také volit pomocí posuvníku (trackBaru).

V oblasti výsledky se zobrazuje celkový počet epicenter seismické aktivity na uživatelsky zadané oblasti. Tedy počet epicenter seismické aktivity co splní všechny naprogramované podmínky.

Největší část programu zabírají záložková okna s grafy a tabulkou. Pomocí pěti záložek se lze snadno přepínat mezi jednotlivými grafy. Poslední šestá záložka obsahuje jednu tabulku s výslednou střední dobou do zemětřesení o dané intenzitě na dané oblasti v letech 1976 - 2010. Tím to uživatel má neustálý přehled o uživatelsky zadaných souřadnicích, které lze jednoduše měnit, a výsledcích. Jednotlivé záložky představují:

- graf 1 – Četnost seismických otřesů kapitola 3.2.6,
- graf 2 – Počet epicenter v příslušném rozmezí magnitud kapitola 3.2.7,
- graf 3 – 30 km vzdálenost od epicentra zadaných souřadnic kapitola 3.2.8,
- graf 4 – Poměr počtu epicenter v zadané oblasti / počtu epicenter v ČR a SK kapitola 3.2.9,
- graf 5 – Počet epicenter o dané magnitudě na území ČR a SK kapitola 3.2.10,
- tabulka – Střední doba do zemětřesení kapitola 3.2.11.



Obr. 14 - Vzhled a popis programu

### 3.2.4 Vstupy do programu

Nejprve je nutné přes menu „Hodnoty“, načíst příslušný upravený textový soubor s daty. Zadávají se do modelu tři základní vstupní hodnoty, pro které se zjišťuje výsledné riziko zemětřesení v oblasti:

- severní šířka ve stupních,
- východní délka ve stupních,
- rádius v kilometrech.

Pomocí výše zmíněných parametrů dokáže program spočítat a následně vykreslit do grafů příslušné hodnoty nacházející se v určené oblasti. Rádius můžeme zadat číselně nebo pomocí táhla (trackBaru), který je omezen na vzdálenost 300 km. Hodnota 300 km je dostačující, jelikož kružnice o průměru 600 km pokryje celou Českou republiku. Předdefinované uživatelské hodnoty, zabírají oblast v okolí hlavního města Prahy.

### 3.2.5 Záložky s grafy a tabulkou

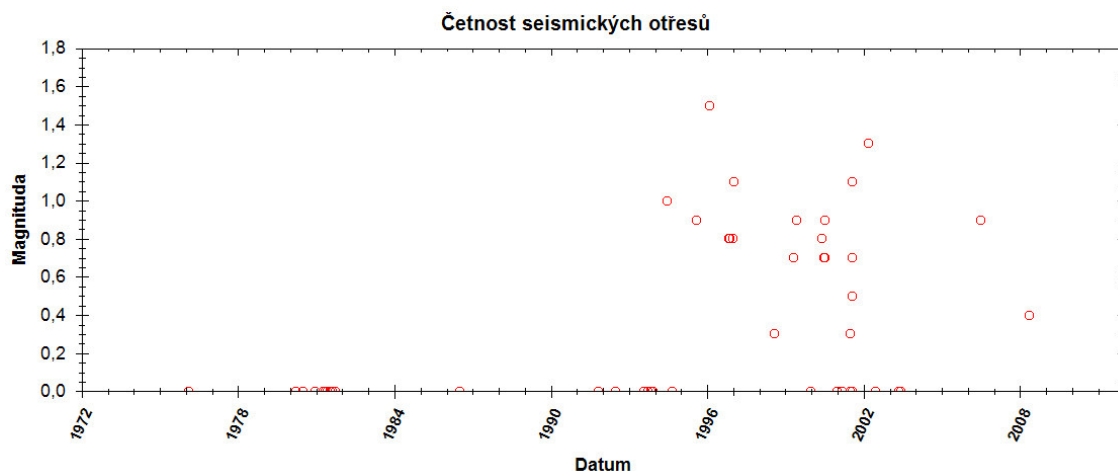
Grafy do programu byli implementovány ze stránky <http://zedgraph.org/>, kde již byl objekt „graf“ vytvořen. Grafy použité v naší práci umí přibližovat a oddalovat vykreslené hodnoty. Dále přes pravé tlačítko myši se zobrazí malé menu, kde jsou položky pro zapnutí popisky bodů (při najetí kurzorem na příslušný vykreslený bod se zobrazí hodnoty v pořadí datum, čas a magnituda). V neposlední řadě se může výsledný graf uložit do formátu JPEG nebo ho rovnou poslat na tiskárnu. Tabulku jsme použili z komponent co nám Microsoft Visual Studio 2008 nabízí.

### 3.2.6 Graf 1 - Četnost seismických otřesů

Bodový graf 1 zobrazuje všechny seismická epicentra z upravených vstupních dat ze souboru v uživatelsky zadané oblasti. Každý bod představuje jedno epicentrum zemětřesení. Ke každému bodu je vynesena i síla magnitudy.

Na výsledném grafu 1 (Obr. 15) je vidět, jak za sledované období 1976 - 2010 se seismická aktivita skokově projevuje. Z prvopočátků sledování je evidována řada dat,

kde chybí některé ze vstupních údajů, tato data musela být pro nedůvěryhodnost vyřazena z analýzy.

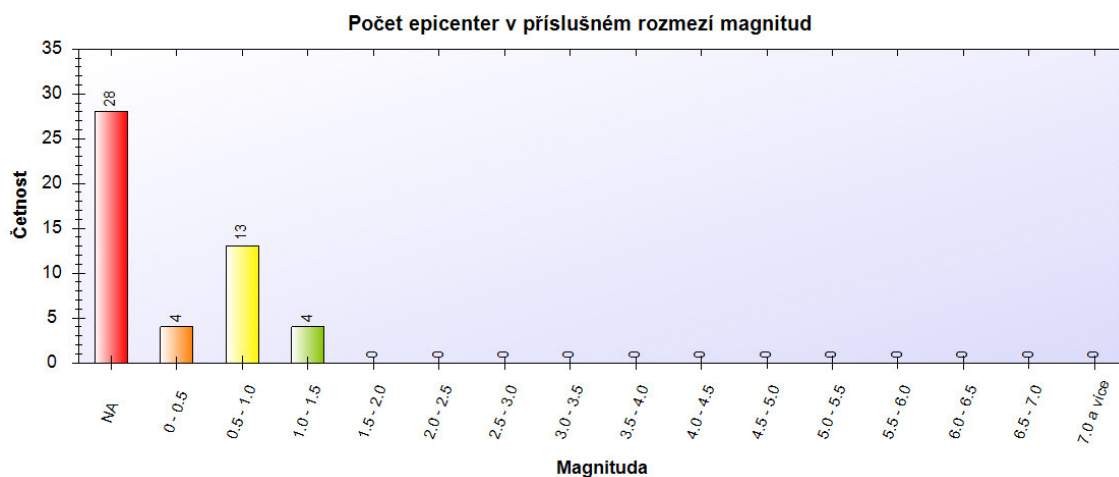


Obr. 15 - Graf 1 Četnost seismických otřesů

### 3.2.7 Graf 2 - Počet epicenter v příslušném rozmezí magnitud

Sloupcový Graf 2 (obr. 16) znázorňuje počet epicenter o určité magnitudě v zadané oblasti. Na vodorovné ose jsou magnitudy rozděleny do šestnácti skupin v rozmezí 0,5 magnitudy. Výjimku tvoří první a poslední skupina. První skupina zahrnuje pouze magnitudu rovnu výrazu „nezjištěno“. Je to z důvodu většího zastoupení nezjištěných magnitud ve stupních datech. Tím eliminujeme nepřesnosti v grafu a případné zkreslení. Poslední skupina je v rozmezí „7,0 a více“.

Z grafu je patrné, jak velké a jak časté jsou seismické otřesy v zadané oblasti. Pro lepší přehlednost jsou nad každým sloupcem zobrazeny četnosti nalezených epicenter ve specifickém rozsahu.

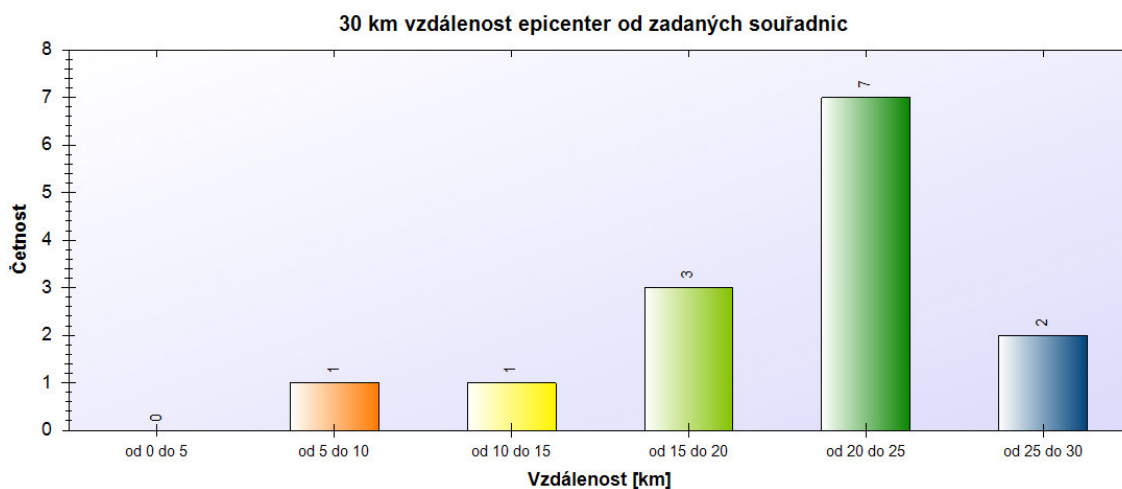


Obr. 16 - Graf 2 Počet epicenter v příslušném rozmezí magnitud

### 3.2.8 Graf 3 - 30 km vzdálenost od epicentra zadaných souřadnic

Sloupcový graf 3 (obr. 17) využívá na rozdíl od ostatních grafů jen dvě ze tří uživatelsky zadaných parametrů. Je to z důvodu statického omezení rádie na vzdálenost třiceti kilometrů od zadaných GPS souřadnic. Vstupní data uživatel zadá jen ve formě severní šířky a východní délky ve stupních. Z těch to zadaných hodnot se určí počet epicenter seismické aktivity v bezprostřední blízkosti zadané bodu.

Pevně stanovený rádius jsme rozdělili do šesti kategorií po pěti kilometrech. Tím se zpřesní výstupní informace o epicentru seismické aktivity v okolí zadaného bodu.



Obr. 17 - Graf 3 30 km vzdálenost epicentra od zadaných souřadnic

### 3.2.9 Graf 4 - Poměr počtu epicenter v zadané oblasti / počtu epicenter v ČR a SK

Sloupcový graf 4 (obr. 18) vyjadřuje poměr počtu epicenter seismické aktivity o určité magnitudě v uživatelsky zadané oblasti vůči počtu epicenter seismické aktivity v České republice a Slovensku. Graf 4 je rozdělen do šestnácti kategorií podle velikosti magnitudy, jako tomu bylo u grafu 2 (obr. 16). Výsledkem je tedy poměr zda zadaná oblast je více či méně postihována epicentry seismické aktivity. Čím vyšší číslo poměru, tím je zadaná oblast více postihována epicentry seismické aktivity. Ve výsledku se na uživatelsky zadané oblasti nachází vyšší riziko otřesů. Naopak u nižších poměrů je zadaná oblast klidnější na epicentra seismické aktivity a je z hlediska seismiky považována za přijatelnější pro výstavbu průmyslových zón.

V programu se omezení vstupních dat ze souboru na Českou republiku a Slovensko řešilo pomocí regionů. V získaných datech byl ke každému státu kde se nachází naměřené epicentrum seismické aktivity přidělen číselný region. Region pro Českou republiku a Slovensko je 547.



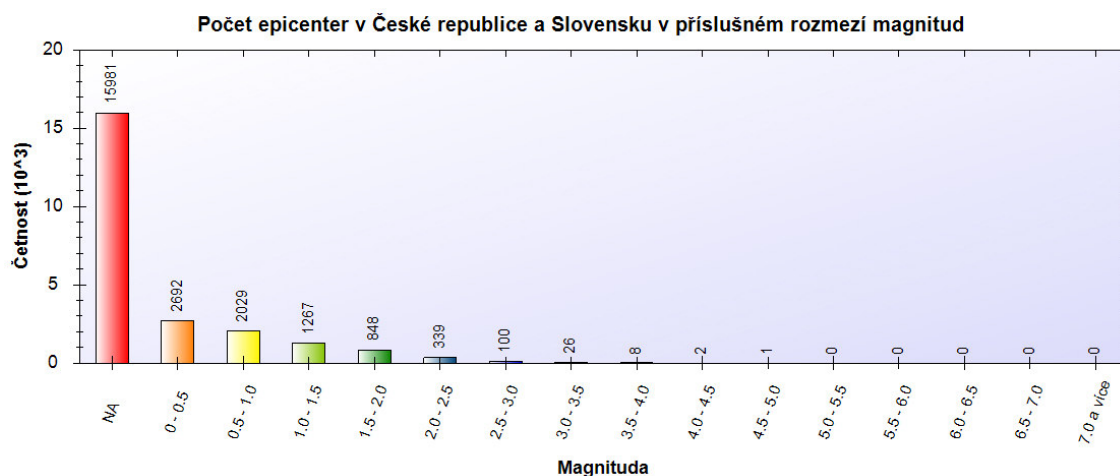
Obr. 18 - Graf 4 Poměr počtu epicenter v zadané oblasti / počtu epicenter v ČR a SK

### 3.2.10 Graf 5 - Počet epicenter na území ČR a SK

Graf na následujícím obrázku (obr. 19) zobrazuje zaznamenaný počet epicenter seismické aktivity o určité magnitudě na území České republiky a Slovenska. Graf je rozdělen do šestnácti kategorií podle velikosti magnitudy. Graf zobrazuje kolik epicenter seismické aktivity a o jaké intenzitě postihuje Českou republiku a Slovensko.



Díky těmto výsledkům z grafu můžeme počty epicenter seismické aktivity v jednotlivých kategoriích srovnávat s počty nalezených epicenter seismické aktivity v uživatelsky zadaných oblastech v grafech 2 a 4.



**Obr. 19 - Graf 5 Počet epicenter v příslušném rozmezí magnitud na území ČR a SK**

### 3.2.11 Střední doba do zemětřesení o dané intenzitě na zvoleném rádiu v letech 1976 – 2010

Na poslední šesté kartě v modelu, se nachází tabulka (obr. 20). Z tabulky (obr. 20) na základě statistických údajů ze vstupních dat, jsme určili kolikrát za měřené období (35 let) se na uživatelsky zadané oblasti nachází epicentrum seismické aktivity a o jaké síle magnitudy. První sloupec tabulky představuje velikost magnitudy rozčleněnou do šestnácti kategorií, jako tomu bylo v minulých případech u grafů 2, 4 a 5. Druhý sloupec vyjadřuje střední dobu daných magnitud za sledované období 35 let.

**Střední doba do zemětřesení o dané intenzitě na zvoleném rádiu v letech 1976 - 2010**

	Rozsah	Střední doba [roky]
►	NA	1,25
	0 - 0,5	8,75
	0,5 - 1,0	2,69
	1,0 - 1,5	8,75
	1,5 - 2,0	0
	2,0 - 2,5	0
	2,5 - 3,0	0
	3,0 - 3,5	0
	3,5 - 4,0	0
	4,0 - 4,5	0
	4,5 - 5,0	0
	5,0 - 5,5	0
	5,5 - 6,0	0
	6,0 - 6,5	0
	6,5 - 7,0	0
	7,0 a více	0

**Obr. 20 - Střední doba do zemětřesení o dané intenzitě na dané oblasti**

### 3.3 Příklady využití programu

V rámci aplikační části byly vybrány dva diametrálně odlišné modelové příklady pro využití vytvořeného softwaru. První příklad jsme zvolili v Karlovarském kraji s GPS souřadnicemi: 50,181° severní šířky a 12,665° východní délky. V této oblasti je zvýšené riziko zemětřesení a nachází se zde chemický průmysl zastoupený například firmou Hexion Speciality Chemicals, a.s. se sídlem v okresním městě Sokolově. Firma Hexion Speciality Chemicals, a.s. se zabývá výrobou průmyslových chemikálií. V bezprostředním okolí se nacházejí další významné firmy:

- Treibacher Schleifmittel, s.r.o. – Sokolov, Tovární
- Sokoflok s. r. o. – chemikálie na čištění vod – Sokolov, Tovární (0.1 km)

Druhý modelový příklad jsme zvolily v oblasti hlavního města Prahy s GPS souřadnicemi 50,084° severní šířky a 14,406° východní délky. V této oblasti je předpokládáno malé riziko zemětřesení. I zde se nachází firmy<sup>5</sup> zabývající se chemickým průmyslem zastoupené například firmou Chronology, s.r.o. Firma Chronology s.r.o. se zabývá distribucí chemických surovin a specialit pro kosmetický, potravinářský a textilní průmysl. V bezprostředním okolí se nacházejí další významné firmy:

- GNB Chem, a.s. – Praha, Karoliny Světlé (0.6 km)
- Unichem, s.r.o. – Praha, Holečkova (1.1 km)
- Oritest, spol. s r.o. – Praha, Na bělidle (1.4 km)
- Penta – Praha, Wichterlova (1.7 km)
- Arnaud Česká, s.r.o. – Praha, Eliášova (1.7 km)

Obě oblasti nebyly vybrány náhodně. V prvním případě se jedná o oblast častých seismických jevů. Ve druhém případě se jedná o klidnou oblast, kde se navenek zemětřesení projevuje velmi vzácně. Na druhou stranu je velice silně obydlena. Obě oblasti jsou od sebe vzdálené 120 km vzdušnou čarou (oblasti jsou poměrně blízko), ale seismická aktivita je přesto diametrálně rozdílná.

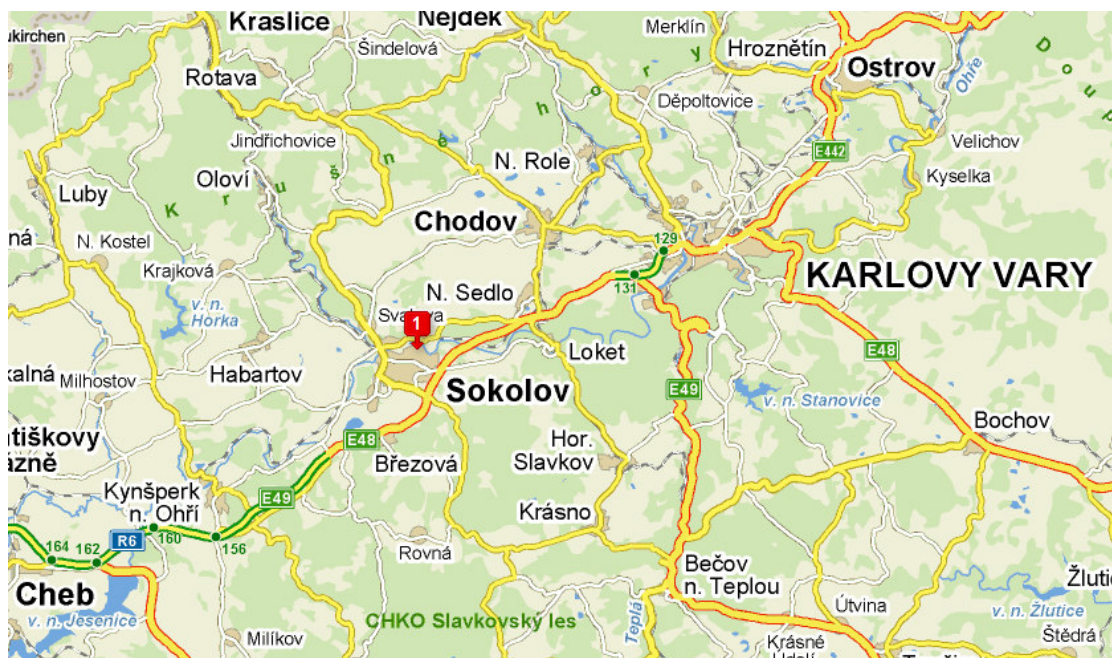
---

<sup>5</sup> Níže vypsane firmy mají v oblasti pouze centrály, blíže vysvětleno u modelu 2 (str. 39)

Chemické firmy jsme vybrali z důvodu zvýšených rizik na okolní subjekty v případě seismické aktivity.

### 3.3.1 První modelový příklad Karlovarský kraj

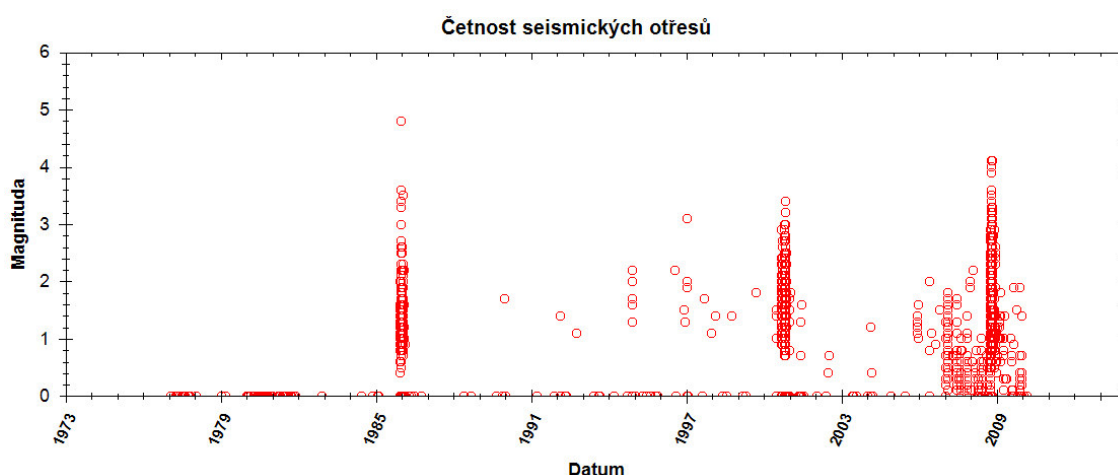
Pro první příklad jsme zvolily oblast Karlovarského kraje (obr. 21), okresní město Sokolov. GPS souřadnice bodu  $50,181^\circ$  severní šířky a  $12,665^\circ$  východní délky. Rádus jsme zvolily třicet kilometrů. Zvolená oblast je známá svou častou seismickou aktivitou s nadprůměrnou velikostí magnitudy. Zadaný bod se nachází v průmyslové zóně.



Obr. 21 - Model 1 – Umístění zvoleného bodu

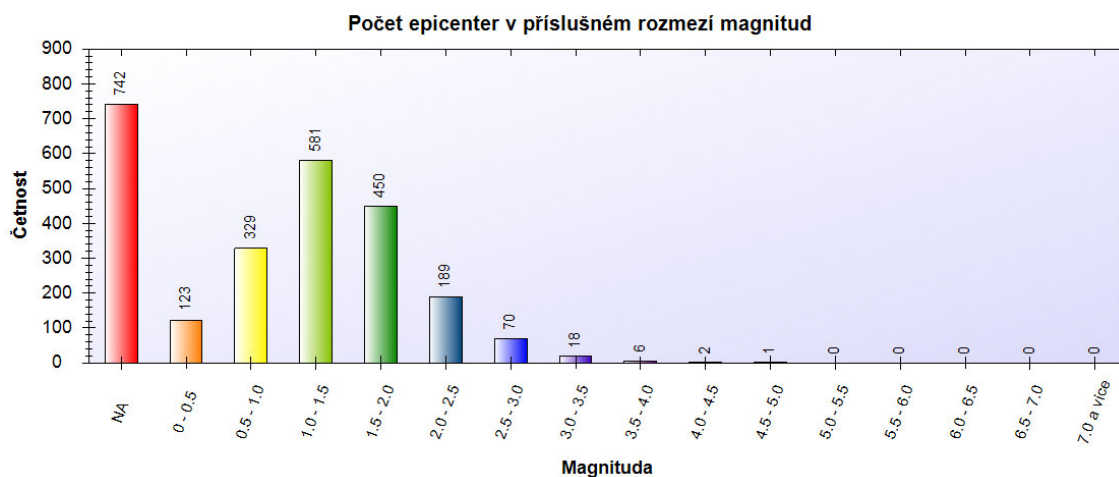
Celkový počet epicenter seismické aktivity v období od 3. ledna 1976 do 3. dubna 2010 je v zadané oblasti 2511. Což na oblasti o průměru třiceti kilometrů, vypovídá, že se jedná o oblast nadprůměrné seismické aktivity. Z grafu (obr. 22) jsou patrné skokově projevující se epicentra zemětřesení. Dále nám graf (obr. 22) zobrazuje poměrně velké hodnoty naměřených magnitud sahající až k pěti stupňům Richterovy stupnice. Což dle Richterovy stupnice znamená vážná poškození budov, silnic a mostů. První větší epicentrum zemětřesení zaznamenané stanicemi České regionální seismické sítě bylo na přelomu let 1985 a 1986 kde velikost zaznamenaného magnituda s maximální hodnotou  $4,8^\circ$  Richterovy škály. Po téhle enormně vysoké magnitudě bylo

bezmála čtrnáct let klidnější období seismické aktivity. Seismická aktivita se během let 1987 – 2000 projevila o maximální síle magnitudy tři stupně Richterovy škály. Počet seismické aktivity nebyl tak intenzivní jako na přelomu let 1985 a 1986. Kolem roku 2000 se projevilo dalších několik poměrně vysokých epicenter zemětřesení. Magnituda nepřevýšila nejvyšší zaznamenanou hodnotu v roce 1985, ale zato počet epicenter byl vyšší než v minulém případě. Poslední větší naměřená epicentra zemětřesení byla v letech 2007 až 2009 jak je vidět na následujícím obrázku (obr. 22).



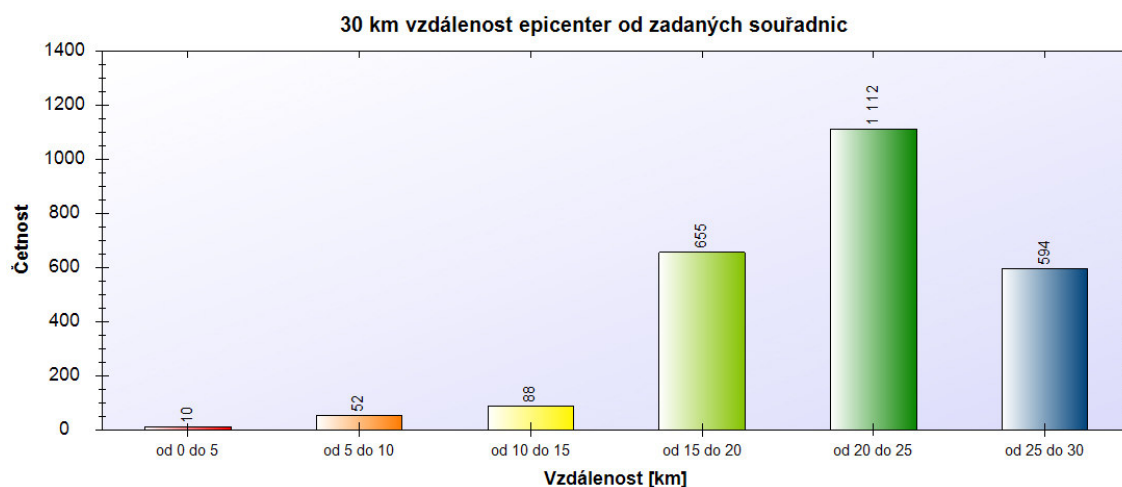
**Obr. 22 - Model 1 – Četnost seismických otřesů**

Z grafu (obr. 23) je patrné, že nejvíce neměřených magnitud bylo o hodnotě nula. Na dané oblasti se projevily také výrazně vyšší magnitudy. Nejméně, za to nejvíce rizikové byli magnitudy v rozmezí  $2,5^{\circ}$  –  $5,0^{\circ}$  Richterovy škály, kterých dohromady bylo na dané oblasti 97. Z té to vysoké statistiky se znovu potvrzuje, že zadaná oblast je více postihována seismickou aktivitou a tudíž více riziková pro budování nových objektů.



**Obr. 23 - Model 1 – Počet epicenter v příslušném rozmezí magnitud**

V nejbližším okolí zadaného bodu se epicentra seismické aktivity moc neprojevovaly. Jak je vidět na grafu (obr. 24), epicentra seismické aktivity se nacházejí až ve větším rádiu. Nejvíce epicenter seismické aktivity se nachází od 20 do 25 km od zadaného bodu. Což při výskytu větších magnitud, jak jsme se přesvědčili u grafu (obr. 23), je zanedbatelná vzdálenost.



**Obr. 24 - Model 1 – 30 km vzdálenost epicenter od zadaných souřadnic**

Poslední graf (obr. 25) potvrzuje vysokou míru rizikovosti. Zadaná oblast je hodně postihována epicentry zemětřesení. Na dané oblasti je poměr výskytu epicentra tak vysoký, že při výstavbě nových průmyslových objektů je vhodné se zaměřit i na ohodnocení zdroje rizika způsobená zemětřesením.



**Obr. 25 - Model 1 – Poměr počtu epicenter v zadané oblasti / počtu epicenter v ČR a SK**

Poslední graf poměru počtu epicenter v zadané oblasti ku počtu epicenter v České republice a Slovensku jsme se rozhodli namodelovat na menší oblasti. Tím zpřesníme míru rizika v okolí průmyslové zóny. Rádus jsme zvolili deset kilometrů, GPS souřadnice bodu jsme ponechali stejné, tedy 50,181° severní šířky a 12,665° východní délky. Počet nalezených epicenter seismické aktivity v oblasti je 62. Z grafu (obr. 26) je patrný že větší magnitudy se nacházejí ve větší vzdálenosti od zadaného bodu.



**Obr. 26 - Model 1 – Poměr počtu epicenter v oblasti s rádiusem 10 km / počtu epicenter v ČR a SK**

Z tabulky (obr. 27) je názorné kolikrát za 35 let se epicentrum seismické aktivity projeví do roka. Menší magnitudy do síly třetího stupně Richterovy škály se projevovaly řádově několikrát do měsíce. Vyšší magnitudy uživatelsky zadanou oblast postihly méněkrát za sledované období (35 let).

### **Střední doba do zemětřesení o dané intenzitě na zvoleném rádiu v letech 1976 - 2010**

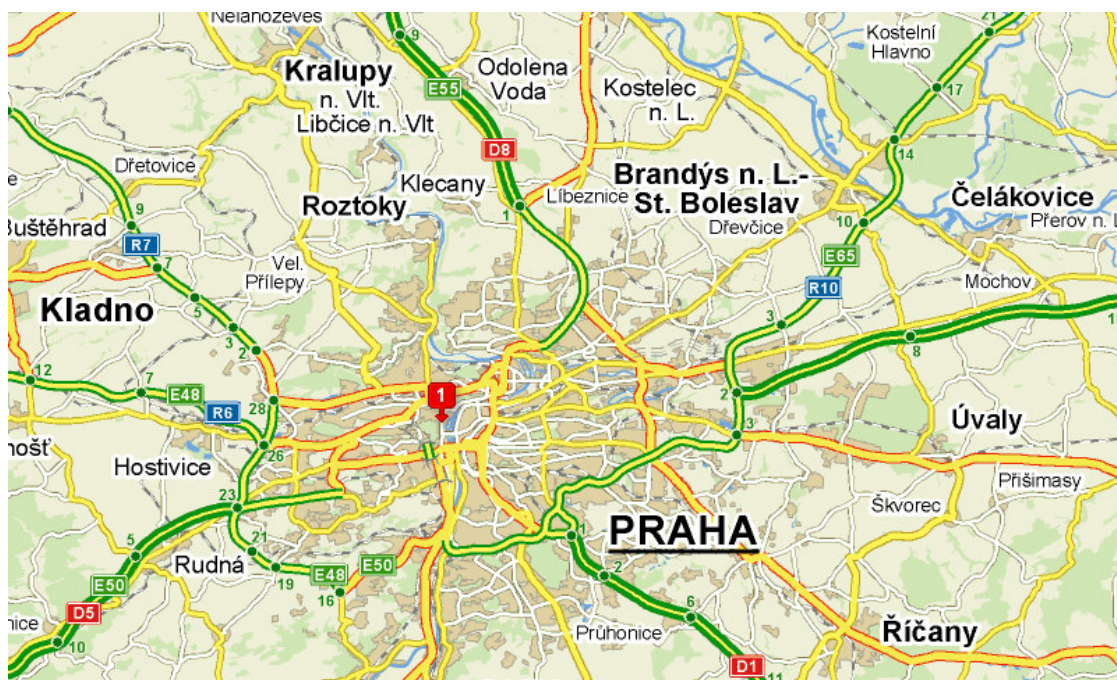
	Rozsah	Střední doba [roky]
►	NA	0,05
	0 - 0.5	0,29
	0.5 - 1.0	0,12
	1.0 - 1.5	0,07
	1.5 - 2.0	0,08
	2.0 - 2.5	0,20
	2.5 - 3.0	0,55
	3.0 - 3.5	2,06
	3.5 - 4.0	7,00
	4.0 - 4.5	17,50
	4.5 - 5.0	35,00
	5.0 - 5.5	0
	5.5 - 6.0	0
	6.0 - 6.5	0
	6.5 - 7.0	0
	7.0 a více	0

**Obr. 27 - Model 1 – Střední doba do zemětřesení o dané intenzitě na dané oblasti**

### **3.3.2 Druhý modelový příklad okolí Prahy**

Pro druhý modelový příklad jsme zvolili oblast v okolí hlavního města Prahy (ob. 28). GPS souřadnice bodu 50,084° severní šířky a 14,406° východní délky. Rádus jsme ponechali jako v minulém případě na třicet kilometrů. Zvolená oblast je hustě obydlená a je známá svou minimální seismickou aktivitou. Zadaný bod se nachází poblíž řeky Vltavy na Malé straně, kde má zázemí firma Chronology s.r.o. Firma se zabývá distribucí chemických surovin a specialit pro kosmetický, potravinářský a textilní průmysl. V oblasti se nachází další významné firmy. Nejedná se však o výrobu daných látek, nýbrž jen o centrály firem. V tomto případě tedy nejde o riziko úniku chemických látek do přírody jako v modelu 1. Daná lokalita nese riziko hustého zalidnění a hustého výskytu historických, kulturních a firemních objektů.

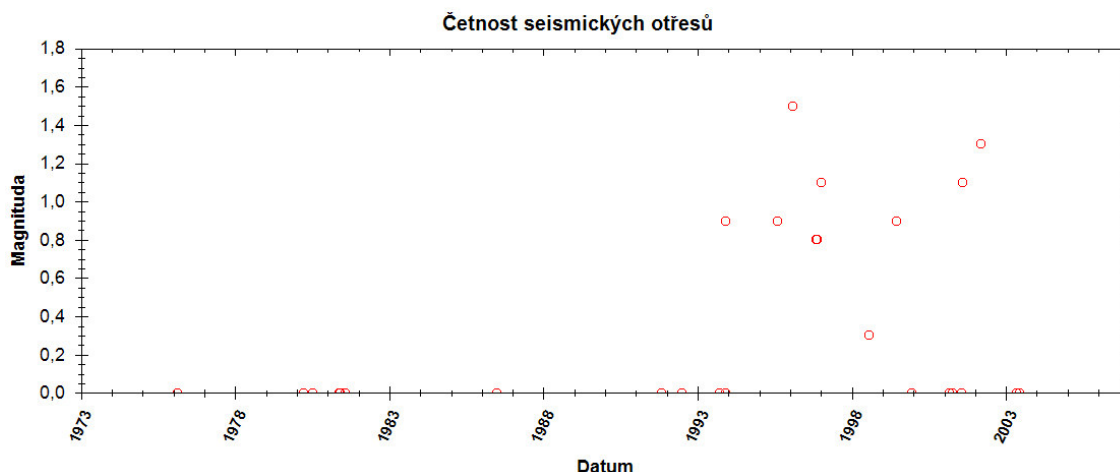




Obr. 28 - Model 2 – Umístění zvoleného bodu

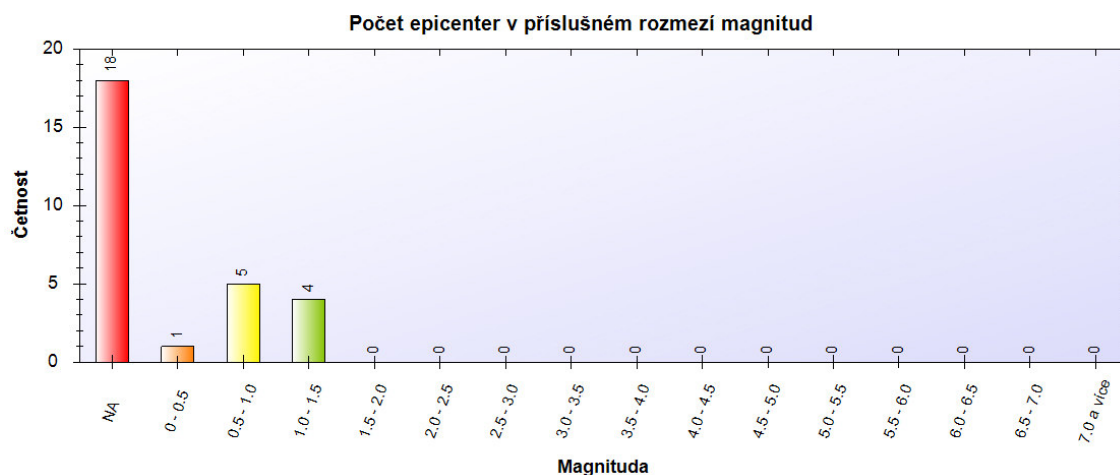
Naměřený počet epicenter seismické aktivity za sledované období dosahuje pouhých 28 oproti prvnímu případu, kdy počet zemětřesení byl 2511. Jedná se rozlohou o stejnou oblast jako v modelu jedna. Z takto malého čísla nalezených epicenter seismické aktivity za tak dlouhé sledované období můžeme říci, že se jedná o klidnou oblast seismických jevů. Ze zobrazeného grafu (obr. 29) je patrné, že větší seismická aktivita se v dané oblasti neprojevuje. Největší magnituda naměřená na dané oblasti dosahovala 1,5° Richterovy škály. Což dle Richterovy tabulky je hodnota kterou člověk nepocítí a lze jí zjistit jen měřícími přístroji - seismografy. Zadaná oblast je vhodná pro výstavbu průmyslových objektů i když v dané oblasti je z důvodu vysoké hustoty zalidnění nemožné.





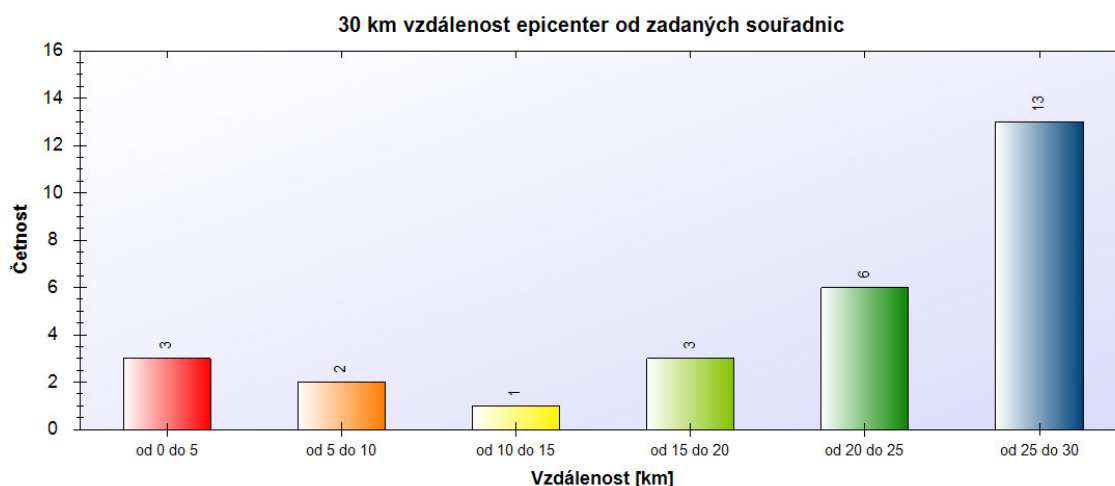
Obr. 29 - Model 2 – Četnost seismických otřesů

Na následujícím obrázku (obr. 30) je vidět dominantní převaha četnosti nulové magnitudy. Tato magnituda představuje minimální hrozbu pro lidstvo a objekty nacházející se v dané oblasti. Zbylé magnitudy nepřesahují velikost 1,5° Richterovy škály. Oblast je za sledované období



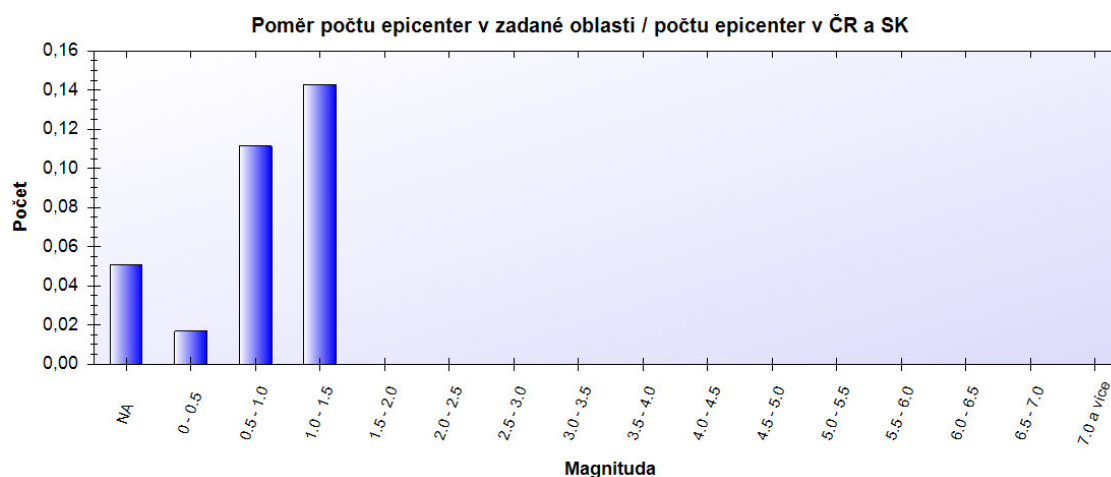
Obr. 30 - Model 2 – Počet epicenter v příslušném rozmezí magnitud

V nejbližším okolí zadaného bodu se epicentra seismické aktivity, projevovali velmi zřídka. Z grafu 3 (obr. 31) je patrná četnost seismické aktivity na zadané oblasti. Nejvyšší počty seismických epicenter jsou zaznamenány až na okraji třiceti kilometrového rádius. Graf 3 (obr. 31), dále potvrzuje tvrzení, že v uživatelsky zadané oblasti je výskyt seismické aktivity málo častý.



**Obr. 31 - Model 2 – 30 km vzdálenost epicenter od zadaných souřadnic**

Dle poměru zadané oblasti ku rozloze celé České republiky a Slovenska se jedná o velmi klidnou oblast seismické aktivity. Poměr není vyšší než 0,15 a naměřené velikosti magnitud, jsou také v dnešní době moderních stavebních technologií zanedbatelné. Když porovnáme předchozí model s modelem dva, zjistíme, že poměry ve čtvrtých grafech jsou hodně rozdílné. Je to způsobeno celkovým počtem nalezených epicenter. V obou případech je zadaná oblast tak malá vůči celé České republice a Slovensku, že počet nalezených epicenter hraje velkou roli. Četnost nalezených epicenter se projeví na výsledném poměru v grafu 4 (obr. 32).



**Obr. 32 - Model 2 – Poměr počtu epicenter v zadané oblasti / počtu epicenter v ČR a SK**

Tabulka na obrázku (obr. 33) shrnuje předešlé texty a grafy z modelu 2. Střední doba do zemětřesení dle získaných dat je opravdu malá. Na zadané oblasti se za 35 let

měření nachází jen jedno epicentrum seismické aktivity v rozmezí větší než nula až 0,5. Daná lokalita patří mezi hodně klidné oblasti co se zemětřesení týče.

**Střední doba do zemětřesení o dané intenzitě na zvoleném rádiusu v letech 1976 - 2010**

	Rozsah	Střední doba [roky]
►	NA	1,94
	0 - 0.5	35,00
	0.5 - 1.0	7,00
	1.0 - 1.5	8,75
	1.5 - 2.0	0
	2.0 - 2.5	0
	2.5 - 3.0	0
	3.0 - 3.5	0
	3.5 - 4.0	0
	4.0 - 4.5	0
	4.5 - 5.0	0
	5.0 - 5.5	0
	5.5 - 6.0	0
	6.0 - 6.5	0
	6.5 - 7.0	0
	7.0 a více	0

**Obr. 33 - Model 2 – Střední doba do zemětřesení o dané intenzitě na dané oblasti**

## 4 Závěr

V bakalářské práci jsme se zabývali zjištěním počtu a velikostí seismické aktivity na lokálním území v porovnání s počtem otřesů v České republice a Slovensku. Výstupy jsou důležité pro celkové zhodnocení rizika dané lokality po stránce seismické aktivity. Výsledek práce by mohl být nápomocný pro určení lokality například pro chemický průmysl, úložiště radioaktivního odpadu, výstavbu nových průmyslových objektů a celkového snížení majetkového rizika.

Základním výstupem bakalářské práce je program, který vytváří pět grafů zachycujících různé ukazatele. Program vykresluje počty epicenter do grafů na základě vstupních dat ze souboru, uživatelsky zadaného bodu pomocí GPS souřadnic ve stupních a rádiu v kilometrech. Tím se vymezí oblast vepsané kružnici, na které hledáme epicentra seismické aktivity. Dále program obsahuje tabulku se střední dobou do zemětřesení.

První z grafů znázorňuje na uživatelsky zadané oblasti četnost a velikost magnitudy epicentry seismických otřesů v období od 3. ledna 1976 do 3. dubna 2010. Z grafu je patrné jak zadaná oblast v uplynulém období byla více či méně postihována epicentry seismických jevů.

Druhý z grafů vypovídá o počtu epicenter o příslušné magnitudě na uživatelsky zadané oblasti. Magnitudy jsme rozdělili do patnácti skupin v intervalech po 0,5. Přičemž jsme přihlédli k získaným vstupním datům a první skupinu jsme omezili pouze na magnitudu velikosti nula. Výstupem druhého grafu je tedy velikost magnitudy a počet epicenter na uživatelsky zadané oblasti.

Třetí graf znázorňuje počet epicenter v třiceti kilometrovém poloměru od uživatelsky zadaného bodu. Přičemž rádius jsme rozdělili do šesti kategorií po 5 km. Z třetího grafu je patrná míra nebezpečí a četnost seismické aktivity v třiceti kilometrové vzdálenosti od zadaného bodu.

Ze čtvrtého grafu je patrný poměr výskytu epicentra seismické aktivity v uživatelsky zadané oblasti ku celkovému počtu epicenter seismické aktivity na území České republiky a Slovenska. Velikost magnitudy jsme jako u grafu 2 rozdělili do patnácti kategorií. Z grafu tedy vyplývá jak velké riziko (závislé na velikosti magnitudy) se nachází na uživatelsky zadané oblasti vůči celé České republice a

Slovensku. Výsledkem je jestli zadaná oblast je více či méně postihovaná seismickou aktivitou.

Tabulka dle statistického měření za sledované období (1976 – 2010) vypisuje střední dobu do zemětřesení o dané intenzitě na uživatelsky zadané oblasti. Z tabulky je patrné kolikrát do roka se v oblasti vyskytne epicentrum seismické aktivity a o jak velkou sílu magnitudy se jedná. Dle výsledného čísla lze určit střední dobu do zemětřesení.

Byly vybrány dva modelové příklady. První z modelových příkladů byl vybrán v oblasti častých seismických jevů v Karlovarském kraji v průmyslové části Sokolova. Druhý modelový příklad jsme záměrně zvolili v oblasti s výrazně menší seismickou aktivitou, za to ale s hustším zalidněním a větším počtem zastavěných objektů. Druhá oblast se nahází na Malé straně hlavního města Prahy.

Z výsledků můžeme říci že první oblast je v poměru výskytu epicentra tak vysoká (asi 50x), že při výstavbě nových průmyslových objektů je vhodné se zaměřit i na ohodnocení zdroje rizika způsobená zemětřesením. Nejvyšší magnituda zaznamenaná od roku 1976 na první oblasti má hodnotu 4,8° Richterovy škály.

Druhá oblast je minimálně postihována seismickou aktivitou (v porovnání s Českou republikou asi 0,1x) a to do výše 1,5° Richterovy škály. Tato maximálně zaznamenaná hodnota je příliš nízká, aby měla vliv na život obyvatelstva a vážnějších poškození výstaveb objektů.

## Použitá literatura

- [1] <http://sci.muni.cz/~herber/quake.htm#1> - Přírodní katastrofy a environmentální hazardy - multimediální výuková příručka. [online]. Akt. Není udáno, [cit. 11. listopadu 2009].
- [2] <http://geotech.fce.vutbr.cz/studium/geologie/skripta/ZEMETR.htm> - Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav geotechniky [online], Akt. Není udáno, [cit. 11. listopadu 2009].
- [3] <http://cs.wikipedia.org/wiki/Zemětřesení> - Wikipedie, otevřená encyklopedie – Zemětřesení [online]. Akt. 10. listopadu 2009, [cit. 15. listopadu 2009].
- [4] [http://cs.wikipedia.org/wiki/Seismická\\_vlna](http://cs.wikipedia.org/wiki/Seismická_vlna) - Wikipedie, otevřená encyklopedie – Seismická vlna [online]. Akt. 10. listopadu 2009, [cit. 15. listopadu 2009].
- [5] [http://www.zsroznov.cz/prirodopis\\_9/mercalliho.pdf](http://www.zsroznov.cz/prirodopis_9/mercalliho.pdf) - Helena TLAPÁKOVÁ - Mercalliho stupnice [el. podoba], [cit. 15. listopadu 2009].
- [6] <http://cs.wikipedia.org/wiki/GPS> - Wikipedie, otevřená encyklopedie – Global Positioning System [online]. Akt. 10. února 2010, [cit. 28. února 2010].
- [7] [http://www.skola-auto.cz/html\\_hlavni\\_data/aktivty/files/sipvz/VyuzitiGPS.pdf](http://www.skola-auto.cz/html_hlavni_data/aktivty/files/sipvz/VyuzitiGPS.pdf)  
Ing. Miroslav TERČ. Využití GPS ve sledovacích a navigačních systémech automobilů. SOŠ a SOU automobilní v Ústí nad Orlicí. [el. podoba]. [cit. 28. února 2010].
- [8] <http://www.rydval.cz/phprs/view.php?cislocclanku=2005110301> - Princip a fungování GPS [online]. Akt. 1. prosinec 2005, [cit. 28. února 2010].
- [9] <http://www.ig.cas.cz/cz/seismicka-sluzba/katalogy-regionalnich-zemetreseni/index.php>  
Geofyzikální ústav - Získání vstupních dat [online]. [cit. 3. dubna 2010].

- [10] [http://zedgraph.org/wiki/index.php?title=Main\\_Page](http://zedgraph.org/wiki/index.php?title=Main_Page) - Manuálová stránka implementovaných grafů do programu. [online]. Akt. 29. listopadu 2007, [cit. 8. ledna 2010].
- [11] [http://cs.wikipedia.org/wiki/Navigační\\_systém\\_Galileo](http://cs.wikipedia.org/wiki/Navigační_systém_Galileo) - Navigační systém Galileo [online]. Akt. 30. června 2009, [cit. 5. května 2010].